



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JANNE ALBÄCK  
AVIONIKKALAITTEIDEN KENTTÄTESTILAITTEEN  
VAATIMUKSET SOTILASILMAILUKÄYTÖSSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: professori Kari T. Koskinen  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Teknisten  
tieteiden tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
3. kesäkuuta 2015

## TIIVISTELMÄ

### **JANNE ALBÄCK: AVIONIKKALAITTEIDEN KENTTÄTESTILAITTEEN VAATIMUKSET SOTILASILMAILUKÄYTÖSSÄ**

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 61 sivua, 4 liitesivua

Helmikuu 2016

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Koneautomaatio

Tarkastaja: professori Kari T. Koskinen

Avainsanat: testaus, huolto, huolto-organisaatio, avioniikka, laite, kenttätestaus, kenttätestilaitte, vaatimukset, sotilasilmailu, AQAP, AQAP-2110, vaatimusmäärittely, todennus, vaatimusmatriisi, MIL-STD-810G

Puolustusvoimat vaativat, että puolustusmateriaalien toimittajan tilaukset ja hankkeet perustuvat NATO:n AQAP-julkaisuihin. AQAP-julkaisun myötä onnistuneen vaatimusmäärittelyn vastuu siirtyy tilaajalta toimittajalle. Toimittajan haasteena on asettaa tuotteelle oikeat vaatimukset ottaen huomioon tuotteen käyttötarkoitus, ympäristöolosuhteet ja rajapinnat. Pelkkä lista vaatimuksista ei riitä vaan toimittajan tulee myös miettiä millä tavalla vaatimuksia kuvataan ja todennetaan täyttyneeksi.

Työn tarkoituksena oli selvittää avioniikkalaitteiden kenttätestilaitteeseen kohdistuvat vaatimukset puolustusmateriaalin toimittajan näkökulmasta. Työn tutkimukseen kuului eri ilmailumääräysten, direktiivien, standardien ja laatustandardien läpikäynti. Näistä merkittävimmät oli sotilasilmailumääräys SIM-To-Lt-001, AQAP-julkaisu ja STD-MIL-810G -standardi. Työssä haastateltiin useita henkilöitä ilmavoimista, jotka antoivat oman näkemyksensä kenttätestilaitteen tarvittavista ominaisuuksista ja vaatimuksista.

Diplomityön lopputuloksena selvisi, että sotilasilmailuun tarkoitettulle kenttätestilaitteelle ei ole olemassa varsinaisesti ennalta määrättyjä vaatimuksia. Jokaiselle kenttäolosuhteisiin tulevalle laitteelle määritellään vaatimukset tapauskohtaisesti. Kenttätestilaitteen vaatimuksille löytyy kuitenkin suosituksia usealta eri taholta. Ilmavoimien suositukset ovat, että kenttätestilaitte olisi yhden henkilön kuljetettavissa, yhden henkilön käytettävissä, mahdollisimman kevyt, helpokäyttöinen, roisketiivis ja akkukäyttöinen. Lisäksi Ilmavoimat suosittelee, että kenttätestilaitte olisi hyväksytty EMC:n ja sähköturvallisuuden puolesta. Kenttätestilaitteen EMC -vaatimukset tulee perustua EMC-direktiiviin 2004/108/EY. EMC -vaatimukset voidaan täyttää myös noudattamalla MIL-STD-461 -sotilasstandardia. Sähköturvallisuusvaatimukset tulevat 2006/95/EY pienjännitedirektiivistä. Suosituksia ympäristövaatimuksille antaa myös monet standardit ja määräykset. MIL-STD-810G -standardi ottaa hyvin kantaa laitteiden ympäristövaatimuksiin. Kenttätestilaitteen ympäristövaatimukset perustuvat pitkälti edellä mainitun standardin suosituksiin.

Vaatimusmäärittelyssä oleellista on, että vaatimusten suunnittelussa ja määrittelyssä tulee käyttää hyväksi molempien osapuolten asiantuntemusta. Tätä työtä voi käyttää pohjana kenttätestilaitteen vaatimusmäärittelylle ja siihen kuinka vaatimukset voidaan todentaa täyttyneeksi.

## ABSTRACT

**JANNE ALBÄCK:** REQUIREMENTS OF FIELD TEST SET USED FOR TESTING MILITARY AVIONICS UNITS

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 61 pages, 4 Appendix pages

February 2016

Master's Degree Programme in Automation Engineering

Major: Machine Automation

Examiner: Professor Kari T. Koskinen

**Keywords:** testing, maintenance organization, avionics, military, device, field test, field test set, requirements, military aviation, AQAP, AQAP-2110, requirement analysis, specification, verification, requirement matrix, MIL-STD-810G

Finnish Defense Forces demand that the suppliers of military materiel should follow the requirements of NATO's Allied Quality Assurance Publications (AQAP) in their projects. By following NATOS's Allied Quality Assurance Publications the supplier is in responsibility of achieving an adequate requirement specification of their developed military materiel to be delivered to Defense Forces. One prime example of this is the field test set used for testing military avionics units. The challenge is to find the necessary requirements in the aspect of use, environmental conditions and interfaces of the field test set. A list of requirements is not sufficient because the methods and conditions to meet these requirements need also to be reconsidered and decided.

This thesis is based on requiring adequate requirements of field test set used to test military avionics from the military materiel supplier's perspective. The work required a study of several aviation directives, basic directives, standards and quality standards. The most significant directives were the military aviation directive SIM-To-Lt-001, NATO's Allied Quality Assurance Publications and MIL-STD-810G -standard. Several persons from the Finnish Air Force gave their insight to the features and requirements of a capable test set used in the field.

The result of this thesis is that there is no predefined requirement specification for a field test set used in military aviation. The required requirement specifications for a field test set are to be done in co-operation with the Finnish Air Force utilizing both sides expertise. Even so, the supplier of military material is responsible for a throughout requirement specification for the field test set. This thesis can be used as a basis for the future field test sets requirement specifications. Also this thesis includes the conditions and methods to verify these requirements.

## ALKUSANAT

Haluan antaa erityiskiitokset diplomityöni ohjaajalle diplomi-insinööri Jukka Salinille hyvästä ohjauksesta ja tuesta. Kiitokset kuuluvat myös kaikille Ilmavoimien asiantuntijoille, jotka ovat antaneet oman tärkeän asiantuntemuksena tälle työlle. Haluan kiittää myös Insta ILS Oy:tä minulle tärkeästä mahdollisuudesta tehdä diplomityö arvostetulle yritykselle. Kiitän myös Puolustusvoimia siitä, että antoivat minulle luvan käyttää heidän kuvia diplomityössäni.

Tampereella, 15.02.2016

---

Janne Albäck

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
1.1	Sotilasilmailu ja sidosryhmät.....	1
1.2	Avioniikka sotilasilma-aluksessa.....	2
1.3	Avioniikkalaitteiden kunnossapito.....	3
1.4	Kenttätestilaitte ja työn tarkoitus .....	4
2.	TUOTTEEN TOTEUTTAMISEEN LIITTYVÄT VAATIMUKSET .....	6
2.1	Toimittajan pelisäännöt.....	6
2.2	Onnistuneen vaatimusmäärittelyn kulmakivet.....	7
2.3	Huolto-organisaatiota koskevat laatustandardit.....	9
2.4	Tuotteen toteutus.....	11
3.	MIL-STD-810G JA YMPÄRISTÖVAATIMUKSET .....	12
3.1	Testiproseduurit ja hyväksyntäkriteerit.....	13
3.2	MIL-STD-810G testiryhmät .....	13
3.3	Korkean lämpötilan testiryhmä.....	14
3.4	Matalan lämpötilan testiryhmä .....	15
3.5	Sateen testiryhmä .....	15
3.6	Kosteuden testiryhmä.....	16
3.7	Tärinän testiryhmä .....	17
3.8	Matalan ilmanpaineen testiryhmä .....	18
4.	KENTTÄTESTILAITTEEN YMPÄRISTÖVAATIMUSTEN KARTOITUS .....	19
4.1	Kenttätestilaitteen käyttö-, kuljetus- ja säilytysympäristö .....	20
4.2	Käytön, kuljetuksen ja varastoinnin rasitukset .....	22
4.3	Korkea ja matala lämpötila .....	25
4.4	Kosteus ja kondensaatio.....	27
4.5	Tärinä, värähtely, isku ja kiihtyvyys.....	28
4.6	Sade ja lumisade .....	30
4.7	Matala ilmanpaine.....	31
5.	KENTTÄTESTILAITTEEN MEKAANISTEN VAATIMUSTEN KARTOITUS .....	33
5.1	Ulkoiset ominaisuudet .....	33
5.2	Sähköstaattinen purkaus.....	34
5.3	Sähkömagneettinen häiriö ja yhteensopivuus.....	35
5.4	Liityntärajapinnat ja kaapelointi .....	36
5.5	Toiminnalliset vaatimukset.....	39
5.6	Vaatimuksena kuljetettavuus .....	41
5.7	Elinkaareen liittyvät vaatimukset.....	42
5.8	Yleiset vaatimukset.....	43
6.	KENTTÄTESTILAITTEEN VAATIMUS- JA TODENTAMISMATRIISI .....	45
7.	VERTAILU KAUPALLISEEN KENTTÄTESTILAITTEEN VAATIMUKSIIN ...	51
8.	JOHTOPÄÄTELMÄT .....	57

LÄHTEET .....	59
---------------	----

LIITE 1: Lämpötilakartta, korkea lämpötila, MIL-STD-810G

LIITE 2: Lämpötilakartta, matala lämpötila, MIL-STD-810G

LIITE 3: Kosteuskartta, MIL-STD-810G

LIITE 4: Taulukko ympäristöolosuhteista, MIL-STD-810G

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ARINQ	engl. Aeronautical Radio Incorporated
ATE	engl. Automatic Test Equipment, automaattinen testilaitteisto
BIT	engl. Built-in test, itsetesti
BITE	engl. Built-in Test Equipment, itsetestin laitteisto
CoC	engl. Certificate of Conformity, vaatimuksenmukaisuustodistus
EMC	engl. Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
EMI	engl. Electromagnetic Interference, sähkömagneettinen häiriö
ESD	engl. Electrostatic Discharge, sähköstaattinen purkaus
FS	engl. Full scale, mittalaitteen koko mittausalue
ISO 9001:2008	Laatustandardi
LHJ	Laadunhallintajärjestelmä
LVD	engl. Low Voltage Directive, pienjännitedirektiivi
MIL-STD-810G	US Department of Defence kehittämä standardi
MTBF	engl. Mean Time Between Failures, laitteen keskimääräinen aika vikaantumiselle
POC	engl. Point Of Contact, yhteyshenkilö tai organisaatio, joka toimii koordinaattorina tulevalle hankkeelle tai projektille
SVY	Sotilasilmailun viranomaisyksikkö
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Sotilasilmailu ja sidosryhmät

Sotilasilmailulla tarkoitetaan kaikkea ilmailua sotilasilma-aluksella tai sotilaallisella tarkoituksella harjoitettavaa ilmailua (1). Koko sotilasilmailutoiminta perustuu Ilmavoimien päätehtävään: hävittäjätorjunta (2). Korkean tason hävittäjätorjunta edellyttää, että sitä ylläpidetään myös rauhanaikana. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että Ilmavoimat suorittavat päivittäin harjoitus- ja koulutuslentotoimintaa. Harjoitus- ja koulutuslentotoiminnoissaan Ilmavoimat käyttävät koko sen lentokalustoa hyväksi (2). Kuvassa 1 on havainnollistettu suurin osa Ilmavoimien lentokalustosta. Päivittäinen harjoitus- ja koulutuslentotoimintaa edellyttää että sen lentokaluston toimintavarmuus on varmistettu kehittyneellä ja kattavalla kunnossapidolla.



***Kuva 1. Ilmavoimien lentokalusto [Kuva Puolustusvoimat].***

Sotilasilmailun turvallisuutta valvoo ja edistää sotilasilmailun viranomaisyksikkö (SVY) (2). Lentoturvallisuuden varmistamiseksi sotilasilmailuviranomainen säätää määräyksiä, jotka koskevat Suomessa tapahtuvaa kansallista ja kansainvälistä sotilasilmailua (3). Sotilasilmailulle on annettu oma valta asettaa omat määräykset ja vaatimukset huoltotoiminnalleen (1). Tämän lisäksi sotilasilmailuviranomainen



myöntää lupia, hyväksyntöjä ja oikeuksia (3). Esimerkiksi lentokelpoisuuden ylläpito edellyttää, että lentokelpoisuuteen osallistuvalla huolto-organisaatiolla on sotilasilmailuviranomaisen hyväksymä toimintalupa. Sotilasilmailuviranomainen valvoo määräysten ja lupien noudattamista kohdistamalla tarkastuksia sotilasilmailun huolto-organisaatioihin (3).

Huolto-organisaatiolla tarkoitetaan organisaatiota, joka huoltaa sotilasilma-aluksia, osia tai laitteita. Huolto-organisaation toiminnan edellytyksenä on SIM-To-Lt-001 sotilasilmailumääräyksen mukainen toiminta (4). Sotilasilmailumääräys koskee kaikkia siviilipuolen ja sotilaspuolen huolto-organisaatiota. Sotilasmääräyksessä annetaan yleiset vaatimukset koskien sotilasilma-alusten huoltoa. Sotilasilmailuviranomainen antaa huolto-organisaatiolle huoltotoimintaluvan ja SIM-To-Lt-001 sertifikaatin osoituksena siitä, että kyseinen huolto-organisaation huolto-toiminta täyttää sotilasilmailuviranomaisen asettamat vaatimukset.

## **1.2 Avioniikka sotilasilma-aluksessa**

Karkeasti selitettynä avioniikka edustaa lentokoneessa kaikkea missä on sähköä. Itse asiassa sana avioniikka on yhdistelmä sanoista "aviation" ja "electronics". Nykyään avioniikka on käytössä jokaisessa ilma-aluksessa sekä siviili-ilmailussa että sotilasilmailussa. Voisi sanoa, että avioniikka on ilma-aluksessa yhtä tärkeässä roolissa kuin sen runko tai voimalähde. Avioniikka yhdistää kaikki ilma-aluksessa olevat laitteet yhteen isoon järjestelmään, aistii ilma-aluksen asennon, nopeuden, sijainnin ja kiihtyvyydet. Avioniikka suorittaa lennonohjaukseen liittyvät päätökset näiden tietojen avulla ottaen huomioon myös ohjaajan ohjausliikkeet.

Avioniikka mahdollistaa monia parannuksia ilma-aluksen suorituskykyyn. Tämä on yksi syy miksi avioniikkaan panostetaan varsinkin sotilasilmailussa. Yksi avioniikan saavutuksista on aerodynaamisen epätasapainossa olevan hävittäjän lennonohjaus. Aerodynaamisella epätasapainolla saavutetaan parempi liikehtimiskyky kuin tasapainossa lentävillä ilma-aluksilla. Tämä on johtanut siihen, että suurin osa nykyisistä hävittäjistä ovat aerodynaamisesti epätasapainossa. Tosiasia on, että ihminen ei pysty lentämään epätasapainossa olevaa sotilasilma-alusta ilman tietokoneiden apua.

Avioniikan tehtävä sotilasilma-aluksessa on mahdollistaa tehtävän suorittaminen turvallisesti ja tehokkaasti (5). Sotilasilma-alukselle on yleensä määrätty vain yksi tehtävä tai korkeintaan muutama, jotta suorituskyky ei jakautuisi niin monelle osa-alueelle. Sotilasilma-aluksen tehtävä voi olla ilmaherruus, ilmasta maahan hyökkäys, strateginen pommitus, sähköinen sodankäynti, ilma-aluksen tunnistus- ja valvontalentö (5). Esimerkiksi Suomen ilmavoimien hankkimien F-18 Hornet -hävittäjien päätehtävä on saavuttaa ilmaherruus (2). MLU2 päivityksen myötä hävittäjälle on hankittu myös ilmasta maahan pommituskyky (2). Hävittäjällä tehdään myös paljon tunnistus- ja valvontalentöja (5). Toinen esimerkki on maavoimien NH-90 -kuljetushelikopteri. Sen

tehtävä eroaa merkittävästi F-18 hävittäjästä. Tämän kuljetushelikopterin tehtävä on ensisijaisesti joukkojen ja materiaallinen nopea kuljetus (2). Toissijainen tehtävä on valvonta- ja tiedustelutehtävät (2).

Korkea suorituskyky on vain yksi syy miksi sotilasilmailussa käytetään kehittynyttä avioniikkaa. Avioniikka mahdollistaa myös ilma-aluksen turvallisen ohjauksen epänormaaleissa lentotiloissa kuten syöksykierteessä ja siiven sakkaustilassa. Tämän lisäksi avioniikka mahdollistaa myös ilma-aluksen tehtävä suorittamisen häivetekniikalla. Häivetekniikan avulla tehtävä voidaan suorittaa ilman, että tutka havaitsee ilma-aluksen. Tärkeäksi on noussut myös tiedonkeruujärjestelmät. Nykyään taistelut ratkaistaan ennen kuin ne ovat edes syntyneet. Se taho, jolla on paras tilannekuva on myös edellytykset parhaisiin ratkaisuihin. Siksi sotilasilma-aluksiin integroidaan yhä enemmän ja enemmän tiedonkeruujärjestelmiä, jotka pystyvät jakamaan nopeammin ja tarkemmin muiden joukkojen ja puolustushaarojen kesken.

Laitteita ja järjestelmiä yhdistävät väylät, jotka mahdollistavat molemmin puoleisen tiedon jakamisen. Väylien kehitys on yksi suurimmista tekijöistä, joka on mahdollistanut avioniikkajärjestelmien nopean kehityksen sotilasilmailussa (5).

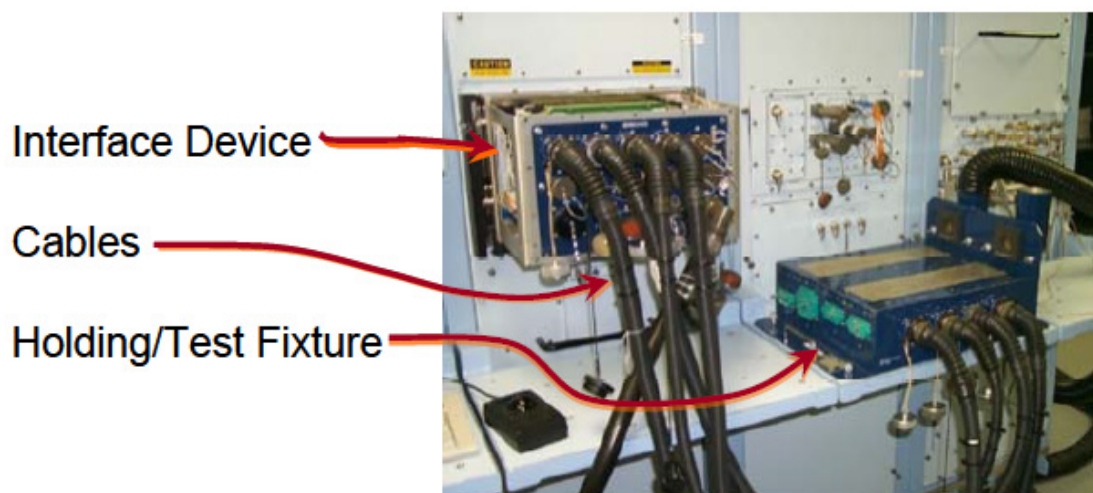
### **1.3 Avioniikkalaitteiden kunnossapito**

Avioniikkalaitteiden kunnossapito on tärkeä sotailma-aluksen suorituskyvylle ja lentoturvallisuudelle. Viallinen laite voi keskeyttää sotilasilma-aluksen tehtävän kokonaan tai pahimmillaan aiheuttaa sotilasilma-aluksen ja sen ohjaajaan menetyksen. Kunnossapito ei ole kuitenkaan olemassa pelkän tehtävän onnistumisen tai lentoturvallisuuden takia. Rauhan aikana sotilasilma-aluksen käyttäjämaalla on mahdollisuus hyvällä kunnossapito-ohjelmalla saavuttaa taloudellisesti tehokkaan käytön koko sen lentokaluston osalta. Tämän takia avioniikkalaitteille ja -järjestelmille on kehitetty kunnossapitomenetelmiä, jolla varmistetaan laitteen tai järjestelmän toimintakyky.

Jaksotetulla huollolla tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joita tehdään tietyin jaksoin laitteen tai ilma-aluksen tilasta riippumatta. Nämä toimenpiteet ovat esimerkiksi tarkastukset, testaukset ja huollot. Jaksotetut huollot perustuvat usein laitteen MTBF (engl. Mean Time Between Failures), joka tarkoittaa laitteen keskimääräistä aikaa vikaantumiseen. Jaksotetun huollon suunnittelussa käytetään myös hyväksi kunnonvalvonnasta ja käyttöseurannasta saatuja tietoja.

Avioniikkalaitteiden jaksotetussa huollossa laitteet irrotetaan ilma-aluksesta ja viedään huoltoa suorittavalle huolto-organisaatiolle huollettavaksi. Huolto-organisaatiossa laitteelle suoritetaan usein laitevalmistajan määrittelemän mukainen huolto. Huollossa mekaaniset ja sähkömekaaniset avioniikkalaitteet käyvät erilaisen huoltoprosessin läpi kuin puhtaasti sähköiset avioniikkalaitteet. Mekaaniset ja sähkömekaaniset

avioniikkalaitteet puretaan aina auki, koska laakerit ja moottorit tarvitsevat tiettyjä toimenpiteitä, esimerkiksi rasvausta tai hiilen vaihtoa. Sähköiset avioniikkalaitteet käyvät pääsääntöisesti pelkästään testauksessa, esimerkkinä näyttölaitteet ja tietokoneet. Raskaampaa testausta varten laitevalmistajat ovat kehittäneet ATE-asemia (engl. Automatic Test Equipment), joilla voidaan testata avioniikkalaitteita perusteellisemmin (5). ATE-asemilla (kuva 2) tehdään laitteen huollon mukaisia testejä. Laite voidaan todeta lentokelpoiseksi, jos laite läpäisee testin. Riippuen ATE-asemasta, testejä voidaan tehdä joko laitetasolla tai moduuli/komponenttitasolla (5) (6). ATE-asemat ovat käytännössä isoja testauslaitteita, jotka sisältävät tietokoneen, mittalaitteita ja rajapinnan testattavalle laitteelle (6). Kuvassa 2 on esitetty erään lentävän laitteen testauskonfiguraatio. Testattava laite kytketään testaustelineeseen (engl. Holding/Test Fixture). Testausteline on yhteydessä ATE-asemaan kaapeleiden ja rajapintalaitteen kautta (engl. Interface Device).



**Kuva 2. Laitteen testauskonfiguraatio ATE-asemaa käyttäen (6).**

Jos vikaantuminen havaitaan lennon aikana tai laitteen ollessa muuten ilma-aluksessa, irrotetaan laite ilma-aluksesta ja viedään vikakorjaukseen. Vikaantunut laite tai järjestelmä voidaan havaita esimerkiksi kenttätestilaitteella. Vikakorjaus voidaan suorittaa sotilasorganisaation omalla huolto-organisaatiolla tai siviilipuolen huolto-organisaatiolla.

## 1.4 Kenttätestilaitte ja työn tarkoitus

Kenttätestilaitteella suoritettavat toimenpiteet ovat osaa ilma-aluksen laitteiston kunnossapitoa. Kenttätestilaitteella varmistetaan laitteen toimintakunto ajamalla useita testejä laitteelle. Testit voivat olla hyvin yksinkertaisia kuten esimerkiksi virta- tai jännitemittauksia tai monimutkaisia kuten laitteen ohjaus eri testaustiloihin väyläkommunikaation kautta. Yleensä kenttätestilaitetta käytetään, kun on mahdollista suorittaa nopea ja yksinkertainen testaus laitteelle. Aikaa ja rahaa säästetään, kun laitetta

ei tarvitse irrottaa ilma-aluksesta ja lähettää huoltoon. Tarve kenttätestilaitteelle voi syntyä kun ilma-alukseen vaihdetaan avioniikkalaite, jonka testaukseen ei voida soveltaa jo käytössä olevia testilaitteita.

Kenttätestilaitteen suunnittelun haasteena on ottaa huomioon oikeat suunnittelukriteerit. Suurin osa suunnittelukriteereistä koskee kenttätestauksen ympäristöolosuhteita. Ympäristöolosuhteiden lisäksi on myös muita suunnittelukriteereitä joita pitää ottaa huomioon. Oikeilla suunnittelukriteereillä varmistetaan, että suunniteltu kenttätestilaitte olisi soveltuva ilma-alusympäristössä tarkoitettuun kenttätestaukseen. Valitut suunnittelukriteerit ovat kenttätestilaitteen vaatimukset, jotka valmiin kenttätestilaitteen tulee täyttää.

Tämän työn tavoitteena on luoda lopputulos, joka toimii pohjana tulevalle kenttätestilaitteen vaatimusmäärittelylle. Tavoitteena on myös selvittää ne todentamistavat, jolla vaatimukset todennetaan täytyneeksi. Tavoitteet pyritään toteuttamaan tutkimalla ympäristöolosuhteita, sotilasstandardeja ja -määräyksiä sekä haastatteleamalla Ilmavoimien asiantuntijoita aiheesta.

Työ sai alkunsa siitä, kun haluttiin saada parempi kokonaiskuva kenttätestilaitteen vaatimuksista, tarvittavista ominaisuuksista ja ympäristöolosuhteista. Paremmalla ymmärryksellä on mahdollista suunnitella tulevaisuudessa laadukkaampia ja suorituskykyisempiä kenttätestilaitteita. Kuvassa 3 on esitetty kenttätestilaitteen yksi kolmesta mahdollisesta käyttöympäristöstä: maantietukikohta.



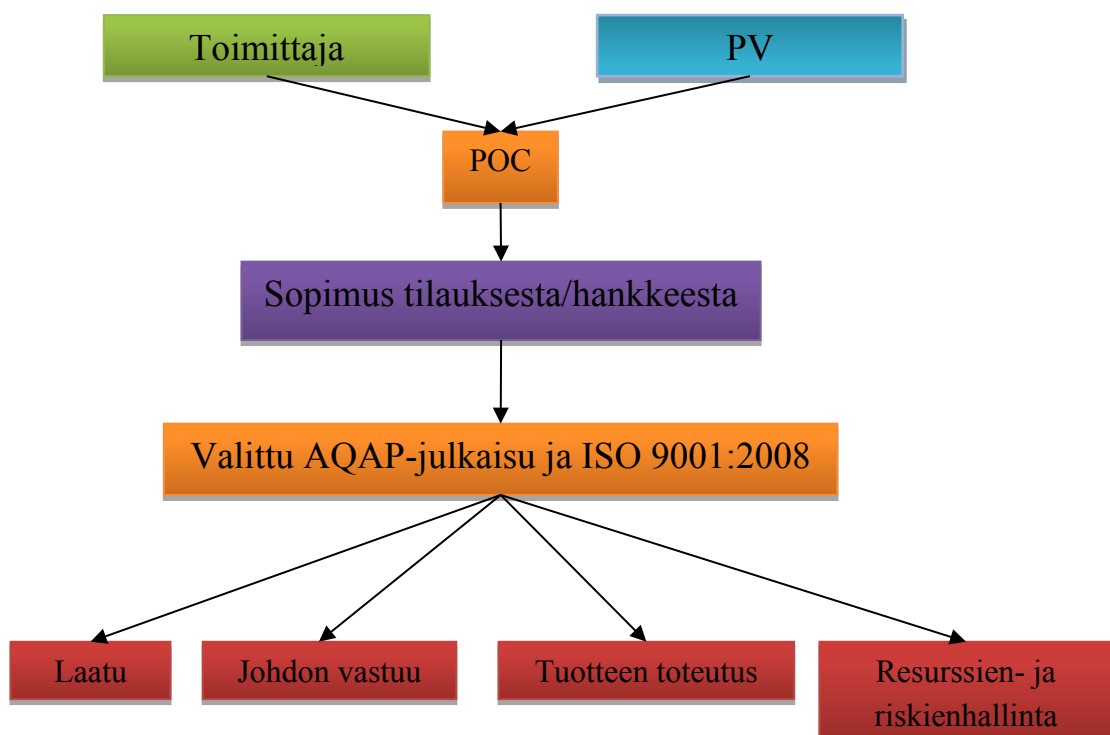
***Kuva 3. Kenttätestilaitteen yksi kolmesta mahdollisesta käyttöympäristöstä: maantietukikohta [Kuva Puolustusvoimat].***

## 2. TUOTTEEN TOTEUTTAMISEEN LIITTYVÄT VAATIMUKSET

### 2.1 Toimittajan pelisäännöt

Puolustusvoimien näkökulmasta yritys toimii puolustusmateriaalin toimittajana, kun sen tarkoituksena on tilauksen tai hankkeen puitteissa toimittaa kenttätestilaite Puolustusvoimille. Puolustusvoimat vaativat, että puolustusmateriaalin toimittajan toiminta hankkeessa tai tilauksessa tulee perustua AQAP-julkaisuun. AQAP-julkaisu yhdessä ISO 9001:2008 -laatustandardin kanssa asettaa yritykselle vaatimuksia kuinka hanke tai tilaus tulee viedä alusta loppuun.

Ennen hankkeen alkua tapahtuu POC (engl. Point Of Contact), missä asiakas tai toimittaja ottaa ensimmäisen yhteyden mahdolliseen hankkeeseen liittyen. Tilanne voi olla se, että asiakas tarvitsee tuotteen ja kysyy toimittajalta, että pystyvätkö he tarjoamaan kyseistä tuotetta. POC voi tehdä myös toimittaja, missä toimittaja kertoo, miksi asiakkaan kannattaisi ostaa kyseinen tuote. Kuvassa 4 on havainnollistettu tilauksen alkuvaiheet.



**Kuva 4. Kokonaiskuva tilauksen alkuvaiheesta ja AQAP-julkaisun ja ISO 9001:2008 -standardien vaatimusryhmistä.**

POC:n jälkeen neuvotellaan mahdollisesta hankkeesta ja sen toteuttamisesta. Keskusteluiden perusteella tehdään sopimus hankkeen tilauksesta. Sopimuksessa päätetään minkä AQAP-julkaisun mukaan hanke toteutetaan. AQAP-julkaisu määräytyy aina hankkeen laajuuden mukaan. Mikäli hanke sisältää suunnittelun, valmistuksen ja lopputarkastuksen tulee hanke noudattaa AQAP-2110 -julkaisua (7).

AQAP-julkaisun ja ISO 9001:2008 asettamat vaatimukset koskevat muun muassa laadunhallintajärjestelmää, johdon vastuuta, tuotteen toteutusta, resurssien hallintaa ja riskien hallintaa. Tuotteen toteutukseen liittyen vaatimuksena on, että tuotteelle asetetaan vaatimuksia, jotka pitää täyttyä ennen tuotteen luovuttamista. Vaatimuksilla varmistetaan, että hankkeen tilaaja saavat tuotteen, joka täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset.

## **2.2 Onnistuneen vaatimusmäärittelyn kulmakivet**

Onnistuneen vaatimusmäärittelyyn perustana on se tosiasia että suunnitteluryhmä ymmärtää vaatimuksen peruskäsitteet: vaatimusten yksilöinti, esittäjä, omistaja, tasot, sisältö, kuvaus ja täyttymiskriteeri (8). Ei riitä että mietitään mitä vaatimuksia tuote tarvitsee vaan yhtä tärkeätä on miettiä kuinka vaatimukset toteutetaan ja kuinka se pystytään osoittamaan. Huonosti toteutettu vaatimustenmäärittely voi johtaa isoihin ongelmiin, joiden ratkaiseminen tarvitsee enemmän resursseja kuin alun perin suunniteltu. Pahimmassa tapauksessa lisäresursseja ei saada ja asiakas hylkää hankkeen.

Vaatimuksen yksilöinti tarkoittaa sitä, että kaikilla vaatimuksilla on oma tunniste. Yleisin tapa yksilöidä vaatimus on ollut käyttää juoksevaa numeroa. Tällä tavalla erotetaan vaatimukset toisistaan ja kun testiraportissa viitataan tiettyyn vaatimukseen, ei synny epäselvyyttä mistä vaatimuksesta on kyse. Vaatimukselle annettu tunniste tulee olla koko hankkeen aikana ainutlaatuinen. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka vaatimus hylätään tai poistetaan, ei poistetun vaatimuksen tunnistetta saa käyttää uudestaan. (8)

Vaatimuksilla on aina esittäjä ja omistaja. Esittäjä on se taho, joka on esittänyt vaatimuksen. Esittäjä voi olla esimerkiksi asiakas, alihankkija, asiantuntija, viranomainen tai yhteistyökumppani. Vaatimuksen esittäjä on hyvä kirjata ylös jos vaatimuksen määrittelyvaiheessa tarvitaan tarkennuksia. Vaatimuksen omistaja on se taho jolla on oikeus puuttua vaatimuksen sisältöön ja hyväksymään muutoksia. Vaatimuksen omistaja on yleensä asiakas ja toimittaja. Vaatimuksille tulee aina asettaa omistaja. (8)

Vaikka vaatimuksen kuvaus on hyvin vapaamuotoinen, tulee kuvaus olla kuitenkin helposti ymmärrettävä, yksiselitteinen ja riittävän tarkka. Vaatimuksen tulee ymmärtää sekä vaatimuksen omistaja että myöhemmin vaatimuksen todentajatestivaiheessa. Kuvauksen tulee olla yksiselitteinen ja riittävän tarkka ettei kuvausta ole mahdollista

tulkita monella eri tapaa. Riittävän tarkka kuvaus kertoo lukijalle minkä tai kenen on saavutettava mitäkin. Kuvaus on hyvä kirjoittaa aktiivilausein imperatiivimuodossa. (8)

Esimerkki hyvin kuvatusta vaatimuksesta:

**1. Kenttätestilaitteella voidaan suorittaa MPCD-näyttölaitteen O-tason testi.**

**1.1 Kenttätestilaitte voidaan kytkeä MPCD-näyttölaitteeseen**

**1.2 Kenttätestilaitteen on kommunikoitava MPCD-näyttölaitteen kanssa**

Vaatimuksen täyttymiskriteeri on yhtä tärkeä kuin itse vaatimus. Täyttymiskriteeri kuvaa sitä miten vaatimus täytetään. Hyvässä vaatimuksen kuvauksessa voi olla jo täyttymiskriteeri kerrottuna. Esimerkiksi:

**1. Kenttätestilaitteen tulee toimia -20°C ... 60°C lämpötilassa.**

Nämä vaatimukset ovat yleensä suoritusravoon tai reunaehtoihin liittyviä vaatimuksia. Kun vaatimuksen kuvaus ei kerro täyttymiskriteeriä, tulee täyttymiskriteeri määrittellä erikseen vaatimukselle. Esimerkki tällaisesta vaatimuksesta:

**2. Kenttätestilaitteen tulee olla siirrettävissä yhden ihmisen voimin.**

Tällöin tulee täyttymiskriteerin kuvauksessa kuvata miten kriteerit voidaan todentaa. Esimerkki tällaisesta vaatimuksesta:

**3. Kenttätestilaitteessa on kaksi kantokahvaa ja painaa alle 30 kg.**

Hyvä täyttymiskriteeri kertoo samalla, että mihin vaatimuksella oikein pyritään. Edellisessä esimerkissä huomataan, että kenttätestilaitte halutaan olevan helposti siirrettävissä paikasta toiseen.

Vaatimusten viimeinen vaihe on vaatimusten todentaminen. Vaatimusten todentaminen voidaan aloittaa kun tuote on valmis evaluoitavaksi. Todennus voidaan toteuttaa seuraavilla toimenpiteillä:

1. Testaus
2. Analysointi
3. Tarkastus
4. Demonstraatio
5. Kokeilu/kenttäkoe

Eniten käytetty todentamistapa on testaus. Testauksessa tuotteen ominaisuuksia ja suorituskyykyä testataan todellisessa tai keinotekoisessa ympäristössä. Tavoitteena on varmistaa, että tuote toimii kaikissa sille suunnitelluissa olosuhteissa ja tilanteissa, jotka tulevat vastaan esimerkiksi käytössä, varastoinnissa ja kuljetuksessa.

Insta ILS:llä on olosuhdekaappeja ja tärstimä, joilla voidaan testata tuotteen suorituskyky eri lämpötiloissa, lämpötilavaihteluissa, kosteuksissa ja värinöissä. Tuotteen ohjelma, esimerkiksi testiproseduuri voidaan todentaa testauksella ajamalla testiproseduuri alusta loppuun tietyssä olosuhteissa.

Toiseksi käytetyin todentamistapa on analysointi. Analysoinnissa arvioidaan tuotteen ominaisuuksia analysoimalla tuotekuvauksia, piirustuksia, suunnitteludokumentteja ja ohjelmakoodia. Esimerkiksi käymällä kaikkien sähkökomponenttien tuotespesifikaatiot läpi voidaan todeta missä lämpötiloissa ja kosteuksissa tuotteen pitäisi toimia ongelmitta.

Kolmas tapa on tarkastus. Tarkastuksessa mennään tuotteen luo ja tehdään tarvittavat tarkastukset. Hyvä esimerkki tarkastuksesta on punnitus ja mittaukset. Tarkastusta kutsutaan myös joskus vain todentamiseksi, jos tarkastus tehdään vain silmämääräisesti.

Vähän harvemmin käytetty todentamistapa on demonstraatio. Demonstraatiossa todentaminen tapahtuu käyttämällä tuotteen tiettyä järjestelmää. Demonstraatiota käytetään, jos halutaan todentaa ominaisuus, joka sisältä monta eri vaihetta. Esimerkiksi kenttätestilaitteen nopea käyttöönotto voidaan todentaa demonstraatiolla. Toinen esimerkki on kenttätestilaitteen demonstraatio, missä demonstroidaan kenttätestilaitteen kuljetettavuus käytännössä. Demonstraatiota ei saa kuitenkaan pitää kaikenkattavana todentamistapana, koska se osoittaa vain, että tuote toimii ainakin tietyissä tilanteissa ja olosuhteissa.

Viimeisin ja vähiten käytetty todentamistapa on kokeilu tai kenttäkokeilu. Kokeilussa ja kenttäkokeilussa tuotteen loppukäyttäjät testaavat tuotteen toimintaa ja ominaisuuksia. Kokeilu todellisessa toimintaympäristössä kutsutaan kenttäkokeeksi. Kokeilu ei korvaa testaamista, mutta antaa loppukäyttäjän näkökulmasta arvokasta tietoa.

## **2.3 Huolto-organisaatiota koskevat laatustandardit**

Tilaaja vaatii, että huolto-organisaatio noudattaa huoltotoiminnassaan kansainvälisiä laatustandardeja. Varsinkin ilmailuteollisuudessa, missä tuotannon, tuotekehityksen ja huollon tulee olla laadukasta, vaaditaan laatustandardien noudattamista. Tunnetuin ja käytetyin laatustandardi on ISO 9001:2008 -standardi (kuva 5). Koska ilmailuteollisuus eroaa merkittävästi tavallisesta teollisuudesta, on sille kehitetty myös oma laatustandardi. Ilmailuteollisuudelle kehitetty laatustandardi on AS9100- ja AS9110 -standardi (kuva 5). Kolmas standardi on AQAP -julkaisut (engl. Allied Quality Assurance Publications, kuva 5), joka koskee puolustusmateriaalin toimittajia.

ISO 9001:2008 -standardi on kansainvälinen standardi, joka määrittelee vaatimukset toimittajan laadunhallintajärjestelmälle (LHJ), johdon vastuulle ja resurssienhallintaan. Laadunhallintajärjestelmää koskevat vaatimukset liittyvät siihen kuinka LHJ luodaan,



dokumentoidaan ja toteutetaan. Dokumentoinnissa tulee olla erinäisiä laatukäsikirjoja ja asiakirjoja, jotka kertovat kuinka toimittaja toteuttaa sille asetut vaatimukset. Toimittajan johtoon liittyvät vaatimukset koskevat laatupolitiikkaa, laatutavoitteisiin, vastuisiin, valtuuksiin ja viestintään. Resurssienhallintaan liittyvät vaatimukset koskevat tiloja ja henkilöresursseja. (9)



**Kuva 5. Vasemmalla ISO 9001 -laatustandardi, keskellä AQAP-2110 -standardi ja oikealla AS9100C -laatustandardi.**

Hankkimalla ISO 9001-2008 -sertifikaatin huolto-organisaatio voi osoittaa sen, että sillä on kyky toimittaa johdonmukaisia tuotteita ottaen huomioon asiakasvaatimukset sekä lakien ja viranomaisten vaatimukset. ISO 9001-2008 mukainen laadunhallintajärjestelmän tarkoitus on lisätä asiakastyytyväisyyttä jatkuvalla kehityksellä. Suomessa ISO 9001:2008 -sertifikaattia auditoi ja myöntää Inspecta Oy. Installa on Inspectan myöntämä ISO 9001:2008 -sertifikaatti (kuva 5). ISO 9001:2008 koskee pääsääntöisesti kaikkea Insta ILS:n toimintaa.

AS9100- ja AS9110 -standardit ovat alun perin kehitetty ilmailuteollisuudelle, mutta nykyään sovelletaan myös avaruus- ja puolustusteollisuudessa. AS9100 -standardi koskee organisaatioita jotka harjoittavat ilmailuteollisuuteen liittyvää suunnittelua, tuotekehitystä tai tuotantoa. AS9110 -standardi koskee organisaatioita jotka harjoittavat huoltotoimenpiteitä ilmailuteollisuudessa. AS9100- ja AS9110 -standardit pohjautuvat pitkälti ISO 9001:2008 -standardiin, mutta sisältävät joitain lisävaatimuksia ilmailu-, avaruus- ja puolustusteollisuuden näkökulmasta. Nämä lisävaatimukset koskevat organisaation johtoa, tuotantoa, tuotekehitystä, suunnittelua ja alihankkijoita. Lisävaatimuksilla pyritään takaamaan asiakastyytyväisyys täyttämällä tai ylittämällä asiakasvaatimukset. (10)

AQAP-julkaisut ovat puolustusvoimien vaatima lisävaatimukset laadunhallintajärjestelmälle ISO 9001:2008 lisäksi (11). Tämä lisävaatimus koskee kaikkia toimittajia, jotka toimittavat puolustusmateriaalia puolustusvoimille. Merkittävimmät AQAP-julkaisujen lisävaatimukset ISO 9001:2008 nähden ovat muun muassa riskienhallinta, laatu päällikön valtuuksien tarkennukset, laatuvaatimusten vyörytys alihankkijoille, konfiguraatiohallinta ja sen suunnittelu ja CoC (11). AQAP-vaatimukset ovat koskeneet Instaa vuodesta 2004. Installa on Inspectan myöntämä AQAP-2110 -sertifikaatti.

## 2.4 Tuotteen toteutus

Tuotteen suunnitteluvaiheessa tuotteelle määritellään vaatimuksia. Ei ole pelkkää sattumaa, että näin hankkeen suunnitteluvaiheessa toimitaan. AQAP-2110 julkaisun yhtenä vaatimuksena on se, että toimittaja selvittää tuotteen tarvittavat vaatimukset. Vaatimusmäärittelyn perustana toimivat asiakkaan määrittämät toiminnalliset vaatimukset. Kokemuksen perusteella Ilmavoimat määrittävät ylemmän tason tuotevaatimukset, joskus pelkät käyttötapaukset. Vaikka asiakas kertoo tuotteen toiminnalliset vaatimukset, ei toimittaja saa pitää niitä täydellisinä. Tarpeen vaatiessa toimittaja tulee kehittää tai korjata asiakkaan asettamia vaatimuksia. Toimittajan vastuulle jää myös selvittää ne vaatimukset, jotka asiakas ei määrittele. Nämä voivat olla vaatimuksia, jotka laki tai viranomaiset vaativat. (11)

Toimittajalta vaaditaan myös enemmän kuin pelkkien vaatimusten selvittämistä. Toimittajan tulee osoittaa, että ymmärtää mitä vaatimukset tarkoittavat. Tämä tarkoittaa sitä, että vaatimukset tulee määritellä oikein. Vaatimusten tulee olla yksiselitteisiä ja selkeitä. Samalla tulee määritellä kuinka toimittajaa täyttää vaatimukset ja kuinka se pystytään osoittamaan.

AQAP-julkaisu ja ISO 9001:2008 vaatii, että tuotteen eri valmistusvaiheet dokumentoidaan. Tämä on ratkaistu täyttämällä tuotteen valmistuksessa dokumenttia nimeltä tuotekortti. Tuotekortissa sisältyy valmistuksen eri vaiheet ja vaiheiden hyväksyjät. Tuotekorttiin tulee lopputarkastajan hyväksyntä lopputarkastusvaiheesta.

Hankkeen tai projektin viimeinen vaihe on tuotteen luovuttaminen asiakkaalle. Tämä on se vaihe missä toimittaja täyttää lupauksensa Puolustusvoimille. Tuotteen katsotaan olevan valmis luovutukseen kun se täyttää sille asetetut vaatimukset. Yleensä puolustusvoimat haluavat näyttöä siitä, että tuote täyttää asettamat vaatimukset. Näyttö vaatimusten täyttämisestä esitetään puolustusvoimille luovutuksen yhteydessä. Katselmuksessa käydään läpi dokumentteja, jotka osoittavat vaatimusten täyttymisen. Tuotteen luovutuksessa Insta antaa asiakkaalle myös vaatimuksenmukaisuustodistuksen (CoC).

### 3. MIL-STD-810G JA YMPÄRISTÖVAATIMUKSET

Kyseinen standardi sisältää kuitenkin paljon enemmän mitä se aluksi antaa ymmärtää. MIL-STD-810G on US Department of Defense kehittämä dokumentti, missä on esitetty eri testausmenetelmiä, sarja suosituksia suorituskyvylle ja valmistukselle. Standardi on suunnattu sekä sotilasteollisuudelle että kaupalliselle teollisuudelle. Dokumentti on yli 800 sivua pitkä. (12)

MIL-STD-810 antaa suosituksia testaamisen kaikille osa-alueille, kuten dokumentoinnille, testiohjelmille, testistandardeille ja laboratoriotesteille. Nämä suositukset kertovat mitkä ovat laitteen suorituksen kannalta hyväksytyt rajat tietyssä olosuhteessa. MIL-STD-810G käytetään paljon muun muassa elektroniikkalaitteiden rasisuskokeissa. Dokumentoinnin ja testiohjelmien tarkoitus on tukea testaamista ja testitulosten analysointia. (12)

MIL-STD-810G mukaiset testit tehdään standardin ennalta määritetyn testisuunnitelman mukaisesti. Testisuunnitelmassa on määritelty myös testin läpäisykriteerit. Testit voivat olla laboratoriotestejä tai kenttätestejä tai yhdistelmä molempia. Itse laboratoriotestit on jaettu 24 eri testiryhmään. Jako perustuu testattavaan olosuhdetyyppiin. Testiryhmän alussa on kerrottu mitä testiryhmän on tarkoitus testata. Seuraavaksi on kerrottu testiproseduurit millä tavalla testiryhmän voi suorittaa. Testiryhmässä on myös kerrottu mitä parametreja käyttäjä voi valita itse, kuten esimerkiksi lämpötilan, kosteusprosentin, lämpötilanmuutosnopeuden ja värinäprofiilin. (12)

Standardi antaa myös suosituksia mitä testiryhmiä kannattaa käyttää tuotteen käyttötarkoituksen mukaan. Dokumentista löytyy karttoja, mistä voi nähdä mihin olosuhdekategoriaan kukin maa kuuluu. Kartat ovat jaettu omiin olosuhdekategoriaan. Olosuhdekategoriat ovat seuraavat: korkean lämpötilan, matalan lämpötilan ja kosteus. Näitä tietoja voi käyttää hyväksi, kun räätälöi testejä. Dokumentista löytyy myös suositukset mitä testiryhmiä olisi hyvä käyttää tuotteen vaatimusten todentamisessa. Suositukset ovat jaettu tuotteen eri elinkaarivaiheiden mukaan: asennus ja käyttö, kuljetus ja säilytys. (12)

Jokaisen ympäristötestin jälkeen testidata arvioidaan ja tallennetaan testiohjelman mukaisesti. Jokaisen testin jälkeen kirjoitetaan loppuraportti, missä on analysoitu testituloksia.

### 3.1 Testiproseduurit ja hyväksyntäkriteerit

Eri testiryhmissä on valittavana testiproseduuuri. Jokainen testiproseduuuri perustuu tiettyyn konfiguraatioon. Kenttätestilaitteen tyypillisimmät konfiguraatiot ovat käyttö, säilytys ja kuljetus (12).

Ennen testin aloittamista tulee miettiä mitkä ovat testin hyväksyntäkriteerit. Hyväksyntäkriteerit ovat ne vaatimukset laitteelle, joilla laite läpäisee suoritettut testit hyväksytysti (12). Sotilasilmailussa hyväksyttyä testiä kutsutaan GO:ksi ja ei hyväksyttyä NOGO:ksi. MIL-STD-810G -standardissa on annettu hyväksyntäkriteerejä mutta jotkut testiryhmät antavat mahdollisuuden valita omat hyväksyntäkriteerit (12).

GO ja NOGO kriteerit pitää olla selvästi määritelty, koska testin lopussa ei saisi olla epäselvää onko tulos GO tai NOGO. Kriteerien olisi hyvä olla objektiivisia (mitattavissa), koska silloin testin tuloksia on helppo verrata kriteereihin. Kriteeri voi olla joku tietty arvo, toleranssi tai kvantitatiivinen arvo. Vaikka kriteerit olisivat puhtaasti objektiivisia, on niillä myös väkisin subjektiivinen puoli. Subjektiivisella puolella tulisi miettiä kuka tarkastaa testituloksen (onko validi) ja hyväksyy lopputuloksen (GO/NOGO).

Esimerkiksi mekaanisia kriteereitä tulisi miettiä tarkkaan. Aiheuttaako rikkinäinen lasi/muovi, rakenteelliset halkeamat, irtoavat osat tai hetkelliset jumitukset/kiilaantumiset GO:n vai NOGO:n (12)? Hyvä esimerkki haastavasta tulkinnasta on liitin, johonka on muodostunut ruostetta, mutta missä pinnit ovat kunnossa. Onko testi GO vaikka liitimessä on ruostetta?

Sähkölaitteeseen liittyvät kriteerit ovat helpompia verrata lopputuloksiin, koska ovat usein mitattavissa. Esimerkiksi kriteerinä voi olla, että testin aikana VAC/VDC jännitteen tulisi olla  $\pm 0.8\%FS$ , taajuus:  $\pm 0,5\%FS$  tai lämpötilan tai ilmanpaineen mittatarkkuus  $\pm 0.1 \%FS$ .

### 3.2 MIL-STD-810G testiryhmät

Kaikki MIL-STD-810G olevat testit ovat jaettu omiin testiryhmiin riippuen testilaitteeseen kohdistuvasta rasiustyypistä. Yhdessä testiryhmässä voi olla kombinaatio eri rasituksia, jotka suoritetaan samaan aikaan tai peräkkäin. Alla olevassa taulukossa on kerrottu osa MIL-STD-810G -standardin testiryhmistä (12).

**Taulukko 1. MIL-STD-810-G testiryhmät.**

<b>500</b>	Matala ilmapaine (korkeus)	<b>515</b>	Akustinen häiriö
<b>501</b>	Korkea lämpötila	<b>516</b>	Isku
<b>502</b>	Matala lämpötila	<b>517</b>	Pyroshokki
<b>503</b>	Lämpötilashokki	<b>518</b>	Hapottava ilmakehä
<b>504</b>	Nesteen saastuneisuus	<b>519</b>	Tuliaseen värähtely
<b>505</b>	Aurinkosäteily	<b>520</b>	Lämpötila, Kosteus, Värähtely, Korkeus
<b>506</b>	Sade	<b>521</b>	Jäätävä sade
<b>507</b>	Kosteus	<b>522</b>	Ballistinen shokki
<b>508</b>	Home/sienet/kasvillisuus	<b>523</b>	Värähtely-akustinen/lämpötila
<b>509</b>	Suolainen sumu	<b>524</b>	Jäätymien / Sulaminen
<b>510</b>	Hiekka ja pöly		
<b>511</b>	Räjähtävä ilmakehä		
<b>512</b>	Upotus		
<b>513</b>	Kiihtyvyys		
<b>514</b>	Tärinä		

### 3.3 Korkean lämpötilan testiryhmä

Tässä testiryhmässä evaluoidaan laitteen sähköpiirien vakaus, sähköpiirien ylikuumentuminen, mekaaninen hitsaantuminen tai vikaantuminen, eliniän lyhentymisen, mekaaninen laajentuminen ja sen vaikutus tiiveyteen. Potentiaaliset ongelmat voivat olla myös voitelun aleneminen, tiivisteiden heikentyminen, komponenttien ominaisuuksien muutos tai kaasujen purkaantuminen. (12)

Korkean lämpötilan proseduurit ovat joko säilytys tai käyttö. Säilytysproseduurissa testataan kuinka laite kestää säilytyksessä olevaa korkeata lämpötilaa esimerkiksi

kuljetuslaatikossa ulkona kuumana kesäpäivänä. Käyttöproseduurissa testataan laitteen toimivuutta sen ollessa päällä ja toiminnassa. (12)

Testiryhmää voi räätälöidä haluamallaan tavalla vastaamaan todellisia suunnittelun olosuhteita. Korkea lämpötila voi olla joko vakio tai muuttuva. Laitteen asettelu testissä voi olla joko suojattu tai ei suojattu. Laitetta voidaan testata sen ollessa tilassa säilytys tai käyttö. Myös testauksessa olevaa kosteutta voidaan räätälöidä. (12)

Tämä testiryhmä olisi hyvä suorittaa aikaisessa vaiheessa, koska testi ei tyypillisesti vahingoita testattavaa laitetta. Korkean lämpötilan testi olisi kuitenkin hyvä suorittaa värähtely- ja iskutestiryhmän jälkeen ja ennen matalapainetestiryhmän testiä. (12)

### **3.4 Matalan lämpötilan testiryhmä**

Tässä testiryhmässä evaluoidaan samoja vaikutuksia kuin korkeassa lämpötilassa, mutta lisätään jäätymisen ja kondensaation aiheuttamia vaikutuksia. Jäätymisen ja kondensaation vaikutukset voivat olla sähköpiirien epävakaus, mekaaninen vikaantuminen, eliniän lyhentyminen, mekaaninen supistuminen ja sen vaikutus tiiveyteen ja jumiin. Potentiaaliset ongelmat voivat olla myös voitelun ja sähkökomponenttien ominaisuuksien heikentyminen ja muutokset. (12)

Matalan lämpötilan testiryhmää voi räätälöidä haluamallaan tavalla vastaamaan todellisia suunnittelun olosuhteita. Matala lämpötila voi olla joko vakio tai muuttuva. Laitteen asettelu testissä voi olla joko suojattu tai ei suojattu. Laitetta voidaan testata sen ollessa käytössä tai säilytyksessä. Myös testauksessa olevaa kosteutta voidaan räätälöidä. (12)

Testi suositellaan suoritettavan aikaisessa vaiheessa, koska matalan lämpötilan testiryhmä ei tyypillisesti vahingoita laitteita/materiaalia. Tehdään kuitenkin värähtelyn ja iskutestien jälkeen, mutta kuitenkin ennen matalan paineen testiryhmää. (12)

### **3.5 Sateen testiryhmä**

Tässä testiryhmässä evaluoidaan sateen, roiskeen ja sadetippojen vaikutuksia laitteeseen. Tällä testiryhmällä voidaan myös arvioida pakkausten vesitiiveys ja toiminnallisuus. (12)

Tätä testiryhmää tulisi käyttää, jos laite todennäköisesti altistuu käytön, säilytyksen tai kuljetuksen aikana sateelle, vesiroiskeelle tai vesitipoille. Vesitipoilla tarkoitetaan vesitippoja, jotka syntyvät kondensaation ansiosta esimerkiksi katolle, mistä ne tippuvat alas laitteen päälle. Tätä testiryhmää rankempi testiryhmä on upotus (512.5). Upotuksen testiryhmän ongelmana on se, että upotustestissä ei ilmene kaikkia ongelmia mitä sadetestissä 506 mahdollisesti ilmenee. (12)

Tämän testiryhmän räätälöinnissä tulisi huomioida laitteen konfiguraatio (käyttö, säilytys tai kuljetus), laitteen ympäristöolosuhteet, käytön, kuljetuksen ja säilytyksen olosuhdevaatimukset, laitteen toiminnalliset vaatimukset ja tapa millä osoittaa että laitteen toiminta on kriteerien mukainen. Konfiguraatiossa tulee huomioida myös laitteen asento, koska sillä on suuri merkitys sateenkestävyyden kannalta. Räätälöinnissä voidaan valita mitä proseduuria käytetään. Valittavan on kolme eri proseduuria: proseduuuri 1 (sade ja voimakas sade), proseduuuri 2 (korostettu sade), ja proseduuuri 3 (tippa). (12)

Proseduuuri 1 sopii laitteille, joita käytetään ulkona ilman suojaa sateelta tai voimakkaalta sateelta. Proseduuuri 2 käytetään kun testattava laite on liian suuri ensimmäiselle proseduurille. Tämä proseduurin ei ole tarkoitus simuloida tavallista sadetta, mutta käytettäessä antaa jonkinasteisen luottamuksen sateen kestävydestä. Ensimmäisen ja toisen proseduurien erona on tapa millä testattava laite altistetaan vedelle/vesipisaraille. Ensimmäisessä proseduurissa rakennetaan työkalu, millä saadaan aikaiseksi oikean kokoisia vesipisaroita. Toisessa proseduurissa käytetään suutinta, millä ruiskutetaan vettä ilmaan. Proseduuuri 3 sopii laitteelle, jota käytetään sateen suojassa, mutta voi silti altistua kondensaatiosta syntyneistä vesitipoista. (12)

### **3.6 Kosteuden testiryhmä**

Tässä testiryhmässä evaluoidaan lämpimän ja kostean olosuhteen vaikutuksia laitteeseen. Tätä testiryhmää tulisi käyttää, kun laitetta käytetään kosteassa ja lämpimässä ilmastossa tai kun muuten halutaan selvittää kosteuden aiheuttamat vaikutukset laitteeseen. Pääsääntöisesti lämmin ja kostea ilmasto riippuu sijainnista, mutta vastaavanlainen ilma voi esiintyä myös suljetussa tilassa. Esimerkiksi kuljetusauton sisälle voi muodostua lämmin ja kostea ilma, jos sitä ei käytetä. (12)

Tämä testiryhmä ei simuloi lämpimän ja kostean pitkän ajan tai matalan kosteuden vaikutuksia eikä monimutkaisen lämpötila ja kosteusilmaston vaikutuksia, mutta muodostaa silti laitteelle tarpeeksi rasittavan ympäristön, jossa laitteen potentiaaliset ongelmat voivat tulla esille. Tämä testiryhmä tarkoitus ei ole myöskään simuloida kondensaation vaikutuksia laitteeseen. (12)

Laitteen potentiaaliset ongelmat kosteuden suhteen voivat olla metalliosien hapettuminen tai korroosio, jumiutumisia ja tahmentumisia kitkamuutoksen takia, materiaalien turpoamiset, muutoksia komponenttien sähköeristävyydessä ja johtamisessa. Kosteus voi myös aiheuttaa muutoksia materiaalien elastisuudessa, oikosulkuja sähkölaitteissa, sumua optiikassa, näyttölaitteiden luettavuusongelmia ja muutoksia lämmönsiirtokyvyssä. (12)

Testiryhmän räätälöinnissä voidaan valita tehtävä proseduri kahdesta eri vaihtoehdosta: proseduri 1 (aiheutettu kosteus kuljetuksessa ja säilytyksessä ja luonnollinen sykli) ja proseduri 2 (kärjistetty kosteus). Räätälöinnissä kannattaa huomioida laitteen käyttö tarkoitus, luonnolliset olosuhteet, tietojenkeruu, millä kerätään testin lopputuloksen arviointia varten tarvittavat tiedot ja testin pituus. (12)

Ensimmäisen proseduurin tarkoitus on testata laitetta kosteusolosuhteissa, jotka esiintyvät kuljetuksessa ja säilytyksessä. Proseduurissa suoritetaan ensin kolme sykliä, jotka simuloivat kuljetuksen ja säilytyksen kosteusolosuhteita. Kolme ensimmäisen syklin jälkeen tehdään kolme sykliä lisää, jotka simuloivat kosteusympäristöä, joka esiintyy laitteen ollessa ulkona. Toinen proseduri on lämpötilaltaan ja kosteudeltaan paljon voimakkaampi proseduri kuin ensimmäinen, mutta kestoltaan lyhkäisempi. Tämän proseduuria on hyvä käyttää, jos halutaan kosteuden aiheuttamat ongelmat nopeasti esille laitteessa. (12)

### **3.7 Tärinän testiryhmä**

Tärinän testiryhmässä simuloidaan tärinän vaikutuksia laitteeseen. Tämä testiryhmä on kaikista testiryhmistä haastavin ja laajin. Onneksi tärinän testiryhmä on jäsennelty selvästi ja selitetty riittävän tarkasti. Tämän testiryhmän jälkeen löytyy paljon oheistietoa värähtelystä ja tärinästä, jotka syntyvät laitteen valmistuksesta, huollossa, kuljetuksessa ja käytöstä. Oheistietoa voidaan käyttää hyväksi määriteltäessä tärinän taajuuskaistaa ja sen kestoja.

Tätä testiryhmää tulee käyttää suunniteltaessa laitetta kestäämään eri värinän ja värähtelyn rasituksia koko sen suunnitellun elinkaaren aikana. Käytettäessä kyseistä testiryhmää on erittäin tärkeätä, että testiryhmä räätälöidään vastaamaan todellisia värähtelyn ja tärinän rasituksia mitä laitteen eliniän aikana voi esiintyä. Todellisuudessa laitteen elinkaaren aikana esiintyviä värähtelyitä ja tärinöitä ei ole aina mahdollista selvittää hankinnan aikataulun ja resurssien puitteissa. (12)

Testiryhmän räätälöinnissä on valittavana 4 eri testiproseduuria: proseduri 1 yleinen värähtely (engl. general vibration), proseduri 2 irtonaisen rahdin kuljetus (engl. loose cargo transportation), proseduri 3 suuren kokonaisuuden kuljetus (engl. large assembly transportation) ja proseduri 4 kasatun ilma-aluksen rahtivaunun kuljetus ja vapaa lento (engl. assembled aircraft store captive carriage and free flight). (12)

Ensimmäinen testiproseduri keskittyy enemmän tavallisen kuljetuksen ja käytön aikana esiintyviin värähtelyihin ja tärinöihin. Tässä proseduurissa testattava laite testataan sen käyttökonfiguraatiossa ja kuljetuskonfiguraatiossa. Kuljetuskonfiguraatiossa laitteen tulisi olla kuljetuskotelossa, joka vastaa todellista kuljetustilannetta. (12)



Testiproseduuri 2 avulla simuloidaan tilannetta, jossa laitetta kuljetetaan rekassa, perävaunussa tai telaketjulla kulkevalla kuljetusajoneuvolla. Tämän lisäksi testiproseduuri simuloi tilannetta, missä laite pystyy vapaasti liikkumaan kuljetustilassa. (12)

Testiproseduuri 3 keskittyy isojen laitekokonaisuuksien asennus- ja kuljetustilanteisiin, missä iso laitekokonaisuus on asennettu tai sitä kuljetetaan pyörällä tai telaketjulla kulkevalla kuljetusajoneuvolla. Tässä proseduurissa olisi oleellista käyttää kyseisessä tilanteessa suunniteltua asennusalustaa, mitä laitteen elinkaaren aikana on suunniteltu käytettävän. (12)

### **3.8 Matalan ilmanpaineen testiryhmä**

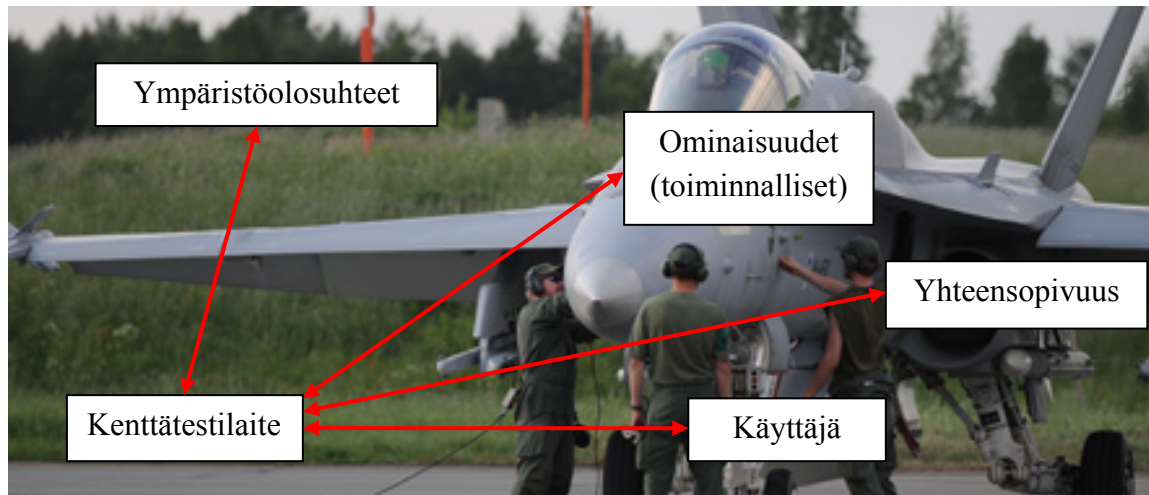
Tämän testiryhmän tarkoitus on testata laitteita matalan ilmanpaineen vaikutuksen alaisena laitteen kuljetus- tai käyttökonfiguraatiossa. Matalalla ilmanpaineella simuloidaan tilannetta missä laite on korkealla maanpinnalla, lentokoneessa paineistetussa tai ei paineistetussa tilassa. Testauksessa kohde altistetaan nopealle tai erittäin nopealle paineenpurkaukselle. Tällä simuloidaan tilannetta missä esimerkiksi lentokone joutuu hätätilanteessa pudottamaan nopeasti korkeutta tai lentokoneen paineistus menetetään. Testi simuloi myös ilmanpainetta, joka vallitsee korkealla maanpinnassa. Tätä testiä voidaan vaatia, jos tuote on suunniteltu lentokoneen ulkopuolelle asennettavaksi tai säilytetään tai käytetään korkealla maanpinnalla. (12)

Testi altistaa tuotteen vikaantumisille, jotka ovat tyypillisiä matalassa ilmanpaineessa eli suurissa korkeuksissa. Mahdolliset vikaantumiset ovat tiivistetyn säilytyslaatikon/kuljetuslaatikon vuoto tai muodonmuutos, materiaalien ominaisuuksien muutos, ylikuumentuminen, voiteluaineiden haihtuminen ja sähkölaitteissa tapahtuva sähköpurkaus (engl. corona). (12)

Kyseistä testiä voi räätälöidä melko vapaasti. Valittavana ovat testiproseduurit, ilmanpaine, lämpötila, korkeuden muutosnopeus, testin kesto ja konfiguraatio (käyttö tai kuljetus). Valittavat proseduurit ovat säilytys/ilmakuljetus, käyttö, ilmakuljetus, nopea paineenpurkaus ja viimeiseksi välitön paineenpurkaus. (12)

Tämä testiryhmä suositellaan tehtävän lämpötilatestin, dynaamisen ja ei metallisten aineiden ikääntymistestin jälkeen. Tämän testin merkittävyys on vähäinen Suomen olosuhteissa.

## 4. KENTTÄTESTILAITTEEN YMPÄRISTÖVAATIMUSTEN KARTOITUS



**Kuva 6. Kenttätestilaitteen vaatimukset eri näkökulmista [Kuva Puolustusvoimat].**

Tässä kappaleessa kartoitetaan kenttätestilaitteeseen liittyvät vaatimukset. Tuotteen vaatimusmäärittelyn onnistumisen kannalta on tärkeätä, että vaatimuksia mietitään järjestelmällisesti eikä lennosta. Vaarana on, että jokin oleellinen vaatimus tulee määrittelemättä, koska sitä ei tajuttu liittyvän kenttätestilaitteeseen. Kenttätestilaitteen vaatimusmäärittelyssä kannattaa siis miettiä vaatimuksia kenttätestilaitteen eri näkökulmista. Kuvassa 6 on havainnollistettu esimerkki mistä näkökulmista vaatimuksia voidaan miettiä: ympäristöolosuhteiden näkökulmasta, ominaisuuksien näkökulmasta, yhteensopivuusnäkökulmasta ja käyttäjän näkökulmasta.

Ominaisuuksien näkökulmasta mietitään niitä vaatimuksia jotka ovat kenttätestilaitteen tehtävän kannalta oleellisia. Nämä vaatimukset ovat kenttätestilaitteen toiminnalliset vaatimukset. Toiminnalliset vaatimukset voivat olla esimerkiksi mittauksiin ja testattavan laitteen kommunikointiin liittyvät.

Ympäristöolosuhteiden näkökulmasta mietitään niitä vaatimuksia jotka kertovat missä ympäristöolosuhteissa kenttätestilaitteen tulisi toimia. Nämä vaatimukset ovat kenttätestilaitteen ympäristövaatimukset. Ympäristövaatimukset voivat olla esimerkiksi lämpötilaan ja kosteuteen liittyvät.

Yhteensopivuuden näkökulmasta mietitään niitä vaatimuksia mitkä tekevät kenttätestilaitteen yhteensopivaksi kytkettävään laitteeseen ja ympäristöön. Nämä

vaatimukset voivat olla esimerkiksi kaapelointiin, sähkönottoon, liittimiin ja EMC:hen liittyviä.

Käyttäjän näkökulmasta mietitään niitä vaatimuksia jotka ovat kenttätestilaitteen käyttäjälle oleellisia. Nämä vaatimukset voivat olla esimerkiksi käyttäjän koulutustarpeen ja kenttätestilaitteen käyttöliittymän käytettävyyteen liittyvät vaatimukset.

Vaatimusmäärittelyn perustana on myös ympäristön tunteminen. Kuvissa 6 ja 7 on vain esimerkki kenttätestilaitteen yhdestä ympäristöstä: lentotukikohdan platta. Ympäristöt ovat hyvin erilaiset riippuen missä kenttätestilaitetta käytetään, kuljetetaan ja säilytetään. Tämän takia vaatimuksia tulee miettiä jokaisen ympäristön omasta ympäristöolosuhteiden näkökulmasta, ominaisuuksien näkökulmasta, yhteensopivuusnäkökulmasta ja käyttäjän näkökulmasta. Seuraavassa kappaleessa käydään läpi kenttätestilaitteen käyttö-, kuljetus- ja säilytysympäristö.

#### 4.1 Kenttätestilaitteen käyttö-, kuljetus- ja säilytysympäristö

Kenttätestilaitteen käyttö-, kuljetus- ja säilytysympäristö vaikuttaa merkittävästi komponenttivalintoihin. Mitä monimutkaisempi laite on sitä enemmän ympäristöolosuhteet vaikuttavat laitteen toimivuuteen. Suunnittelun onnistumisen kannalta on oleellista, että ollaan perillä missä olosuhteissa kenttätestilaitetta käytetään ja tunnetaan näiden olosuhteiden tuomat rasitukset kenttätestilaitteelle. Myös varastointi ja kuljetusolosuhteet tulee huomioida suunnittelussa. Kenttätestilaitteeseen liittyvät ympäristövaatimukset liittyvät usein lämpötilaan, lämpötilan vaihteluun, sateeseen, kosteuteen ja tärinään.



*Kuva 7. Kenttätestilaitteen ensisijainen käyttöympäristö: lentotukikohta [Kuva Puolustusvoimat].*

Lentotukikohdan tai lennoston ympäristö on kenttätestilaitteen ensisijainen käyttöympäristö (kuva 7). Kenttätestilaitteen tulee toimia sekä ulkona platalla että sisällä hallissa. Suurimmat rasitukset tulevat luonnollisesti kenttätestilaitteen ollessa ulkona. Ulkona kenttätestilaitte on altis lämpötilalle, kosteudelle, sateelle, lumisateelle ja jäätymiselle. Myös ilma-alusten tuomat rasitukset kenttätestilaitteelle tulee huomioida. Lähellä olevan ilma-aluksen sähkömagneettinen häiriö ja moottorin aiheuttama värinä voi häiritä kenttätestilaitteen toimintaa. Käyttöympäristössä tulee myös huomioida käyttäjän aiheuttamat iskut ja kiihtyvyydet kenttätestilaitteeseen. Ilma-aluksen aiheuttama ilmavirtaus tulee myös huomioida koska se voi pahimmassa tapauksessa liikuttaa kenttätestilaitetta tai häiritä testausta.



***Kuva 8. Kenttätestilaitteen toissijainen käyttöympäristö: varatukikohta/maantietukikohta [Kuva Savonlinnan lentokerho RY].***

Toissijainen käyttöympäristö on varatukikohta/maantietukikohta (kuva 8). Varatukikohta ei eroa paljon tukikohdan tai lennoston ympäristöstä. Varatukikohta sijaitsee yleensä suoran tieosuuden ympärillä joko kallion ja/tai metsän suojassa. Kallio ja metsä vaimentaa ja vahvistaa kenttätestilaitteeseen kohdistuvia rasituksia. Kallio voi esimerkiksi vahvistaa pommin tai tuliaseen aiheuttamaa paineaaltoa, mutta samalla antaa hyvän suojan tuulelta. Myös akustinen häiriö voi vahvistua kallion ansiosta. Metsä antaa hieman paremman suojan sateelta ja tuulelta kuin paljas taivas. Käytännössä tukikohdan tai lennoston tuomat vaatimukset kattavat myös varatukikohdan vaatimukset. Ainoastaan paineaallon tuomat vaatimukset voivat olla tiukemmat varatukikohdan ympäristön ansioista.





***Kuva 9. Kenttätestilaitteen kolmas käyttöympäristö: korjaamo [Kuva Puolustusvoimat].***

Kolmas käyttöympäristö on korjaamo (kuva 9). Korjaamo on tehty ilma-alusten raskasta huoltoa varten ja siksi olosuhteet korjaamossa ovat parhaat mahdolliset. Korjaamossa on mahdollisuus käyttää kenttätestilaitetta sopivalla käyttöjännitteellä, mikäli kenttätestilaitte suunitellaan niin. Käytännössä tukikohdan tuomat vaatimukset kattavat korjaamon vaatimukset, koska tukikohdan tuomat vaatimukset ovat vaativammat.

## **4.2 Käytön, kuljetuksen ja varastoinnin rasitukset**

Käytön aiheuttamat rasitukset voidaan jakaa neljään eri ryhmään riippuen missä laitteistoa olisi tarkoitus käyttää. Seuraavaksi käydään läpi käytön, asennuksen ja teknillisen henkilöstön aiheuttamat rasitukset maan päällä. MIL-STD-810G -standardin mukaan rasitukset voivat olla:

- Aiheutetut rasitukset:
  - iskut käsittelystä (esimerkiksi pudotus, hakkaaminen ja pyöritys)
  - tuliasen aiheuttama paineaalto
  - akustinen melu (esimerkiksi suihkukone)
  - räjähtävä ilmatila (pommit)
  - elektromagneettinen häiriö (EMI)
- Ei aiheutetut rasitukset:
  - korkea lämpötila (kuiva ja kostea)
  - matala lämpötila
  - jäätyminen
  - terminen shokki (säilytyksestä käyttöönottoon)
  - sade
  - raekuuro
  - hiekka
  - pöly
  - muta
  - sumu

- auringon säteily
- kasvillisuus/home
- kemiallinen hyökkäys

Standardissa oleva lista on hyvin kattava ja ottaa huomioon luonnon aiheuttamat, ihmisen aiheuttamat ja sodankäynnin aiheuttamat rasitukset laitteistolle. Oleellisemmat rasitukset ovat kuitenkin iskut käsittelystä, elektromagneettinen häiriö, korkea ja matala lämpötila, jäätyminen, sade ja pöly.

Kuljetuksesta aiheutuva rasitus voidaan jakaa moneen ryhmään riippuen kuljetustavasta, koska kukin kuljetustapa tuo omat rasituksensa laitteistolle. Tässä käsitellään vain tiekuljetuksen ja ilmakuljetuksen tuomat rasitteet laitteistolle, koska ovat todennäköisimmät kuljetusmuodot kenttätestilaitteelle. Maanteitse aiheutuvat rasitukset:

- Aiheutetut rasitukset:
  - tien aiheuttamat värinät ja iskut (satunnainen värinä, kuopat ja montut)
  - iskut käsittelystä (esimerkiksi pudotus, hakkaaminen ja pyöritys)
- Ei aiheutetut rasitukset:
  - korkea lämpötila
  - matala lämpötila
  - kosteus
  - sade
  - raekuuro
  - hiekka
  - pöly

Ilmateitse aiheutuvat rasitukset:

- Aiheutetut rasitukset:
  - ilma-aluksen moottorin aiheuttama värinä (suihku- ja mäntämoottorit)
  - laskun aiheuttama isku
  - iskut käsittelystä (esimerkiksi pudotus, hakkaaminen ja pyöritys)
- Ei aiheutetut rasitukset:
  - matala ilmanpaine
  - terminen shokki
  - nopea paineenalentuminen

Kuljetuksen tuomat rasitukset eroavat hieman käyttöympäristön rasituksista. Oleellisimmat rasitukset ovat värinät, iskut, korkea ja matala lämpötila, kosteus, pöly, hiekka ja nopea paineenalentuminen. Kuljetuksen aikana kenttätestilaitteeseen kohdistuu satunnaisia värinöitä tien epätasaisuudesta johtuen. Ilmakuljetuksessa kenttätestilaitteeseen kohdistuu värinöiden lisäksi myös kiihtyvyyksiä ilma-aluksen

liikehtimisen seurauksesta. Nopea paineenalentuminen on poikkeustilassa tapahtuva rasitus kun ilma-aluksen ruumasta tai häviää paineet korkealla lennettäessä.

MIL-STD-810G -standardi ottaa myös kantaa logistiikassa tapahtuvasta käsittelystä ja sen mahdollista rasituksista laitteelle. Tämä ryhmä edustaa varmaan myös säilytyksen tuomia rasituksia sisätiloissa. Standardin mukaan logistiikkakeskuksessa tapahtuvan käsittelyn tuomat rasitukset ovat seuraavat:

- Aiheutetut rasitukset:
  - tien aiheuttamat värinät ja iskut (satunnainen värinä, kuopat ja montut)
  - terminen shokki
- Ei aiheutettu:
  - matala ilmanpaine
  - korkea lämpötila
  - jäätävä sade
  - sumu
  - auringon säteily
  - matala ilmanpaine
  - sade
  - raekuuro
  - hiekka
  - pöly

Säilytys tuo myös omat haasteensa suunnittelulle. Säilytyksen tuomat rasitukset voidaan jakaa kahteen ryhmään: suojattu säilytys (teltti/vaja) ja avoin säilytys (ulkona) (12). Suojatun säilytyksen tuomat rasitukset ovat seuraavat:

- Aiheutetut rasitukset:
  - Ei ole
- Ei aiheutettu rasitukset:
  - matala ilmanpaine
  - korkea lämpötila
  - jäätyminen
  - sumu
  - kasvillisuus/home
  - kemiallinen hyökkäys

Ei suojatun eli ulkona säilytyksen tuomat rasitukset ovat seuraavat:

- Aiheutetut rasitukset:
  - Ei ole
- Ei aiheutettu rasitukset:
  - matala ilmanpaine

- korkea lämpötila
- jäätävä sade
- raekuuro
- hiekka
- suolainen sumu
- auringon säteily
- kasvillisuus/home
- kemiallinen hyökkäys

MIL-STD-810G -standardissa halutaan korostaa sitä asiaa, että on hyvin mahdollista, että laite joutuu säilytyksessä ja kuljetuksessa kovemmille rasituksille kuin itse käytössä. Tämä johtuu siitä, että kuljetuksessa ja säilytyksessä laite altistuu useammalle rasitukselle yhtä aikaa kuin käytön aikana. Kuljetuksessa ja säilytyksessä laite voi altistua samanaikaisesti rasituksille kuten tärinälle, korkealle lämpötilalle ja kosteudelle. Tässä tapauksessa ei ole aina kaikista järkevintä suunnitella laite kestäämään kaikkia olosuhteita. Tämä voi johtaa siihen että laitteelle tulee liian vaativat vaatimukset. Parempi vaihtoehto on parantaa säilytyksen ja kuljetuksen olosuhteita. On kuitenkin huomioitava, että kuljetuksen ja säilytyksen aikana laite ei ole päällä ja siten kestää rasituksia myös paremmin.

### 4.3 Korkea ja matala lämpötila



***Kuva 10. Korkea ja matala lämpötila [Kuva Puolustusvoimat].***

Lämpötila vaikuttaa eniten kaikista ympäristötekijöistä laitteiston toimintaan ja sen ominaisuuksiin. On huomioitavaa, että kaikki materiaalit ja komponentit eivät kestä korkeita tai matalia lämpötiloja. Erittäin matala lämpötila aiheuttaa haurautta metallirakenteissa ja joustavuuden menetyksen muoviosissa. Erittäin korkea lämpötila aiheuttaa materiaalien epämuodostumisen, rappeutumisen ja heikentymisen. Varsinkin sähkökomponentit ovat herkkiä matalille ja korkeille lämpötiloille. Jo pelkkä lämpötilan muutos aiheuttaa mittausepävarmuutta.

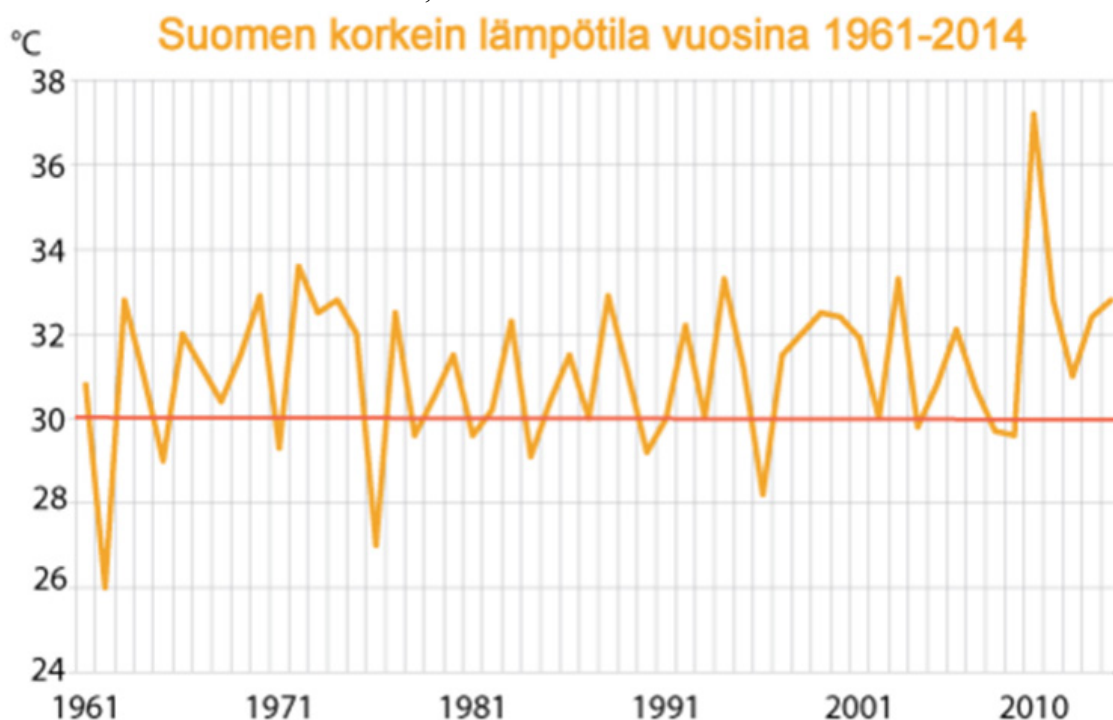
MIL-STD-810G antaa suosituksia mitä lämpötiloja voi esiintyä riippuen sijainnista. Standardi jakaa korkean lämpötilan alueet kolmeen eri kategoriaan; A1: EXTREME HOT DRY, A2: HOT DRY, A3: INTERMEDIATE. Kylmän lämpötilan alueet jaetaan



4 kategoriaan; C0: MILD COLD, C1: INTERMEDIATE COLD, C2: COLD, C3: SEVERE COLD, C4: EXTREME COLD. Korkean ja kylmän lämpötilojen kategorioiden maantieteelliset alueet ovat havainnollistettu liitteissä 1 ja 2.

Standardin mukaan Suomi kuuluu matalan lämpötilan kategoriaan C2: COLD (kylmä) ja korkean lämpötilan kategoriaan A3: INTERMEDIATE (keskitaso). Liitteessä 4 olevassa taulukossa nähdään mitkä ympäristöolosuhteet vallitsevat missäkin kategoriassa. Taulukon mukaan Suomessa päivän kylmin lämpötila voi olla  $-46\text{ °C}$  (C2, daily low) ja korkein lämpötila  $39\text{ °C}$  (A3, daily high). Vastaavasti säilytykselle ja kuljetukselle on omat suositukset, jotka ovat  $-46\text{ °C}$  (C2, daily low) ja  $58\text{ °C}$  (A3, daily high).

Korkein lämpötila esiintyy Suomessa vain kesäisin. Ilmatieteen laitoksen mukaan Suomessa korkein lämpötila pysyy vuosittain noin  $30\text{ °C}$  ja  $34\text{ °C}$  välissä muutama poikkeus lukuun ottamatta (kuva 11) (13). Laskettuna keskimääräinen korkea lämpötila on vuosien 1961–2014 välillä  $31,16\text{ °C}$ .



**Kuva 11. Suomen korkein lämpötila vuosina 1961-2014 (13).**

Vastaavasti kylmin lämpötila esiintyy Suomessa vain talvisin. Ilmatieteen laitoksen mukaan Suomessa kylmin lämpötila pysyy vuosittain noin  $-46\text{ °C}$  ja  $-36\text{ °C}$  välissä muutama poikkeus lukuun ottamatta (kuva 12) (13). Laskettuna keskimääräinen kylmin lämpötila vuosien 1961–2014 välillä olisi  $-41,45\text{ °C}$ . Kuten korkeimman lämpötilan kohdalla ilmatieteenlaitoksen arvot eroavat hieman MIL-STD-810G -standardin antamista suositusarvoista.



**Kuva 12. Suomen kylmin lämpötila vuosina 1961-2014 (13).**

Kenttätestilaitteen lämpötilavaatimuksia voidaan tarkastella sotilasilmalukäytössä kentällä olevien laitteiden näkökulmasta. Ilmavoimat käyttävät Houchin valmistamaa maavirtalähdettä GPU (Ground Power Unit) (Kuivanen Pentti, PVLOGL, puhelinkeskustelu 9.10.2015). Maavirtalähdettä käytetään ilma-aluksen sähkönsyötössä, kun ilma-aluksen omaa sähkönsyöttöä ei haluta käyttää. Valmistajan mukaan maavirtalähde C690 on suunniteltu käytettäväksi  $-25^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa (14). Nämä lämpötilat ovat hieman korkeammat kuin MIL-STD-801G -standardin antamat lämpötilasuositukset.

MIL-STD-810G -standardin mukaan kaikki laitteet tulisi lähtökohtaisesti suunnitella toimimaan seuraavalle lämpötila-alueelle:  $-32^{\circ}\text{C} \dots +43^{\circ}\text{C}$ . Vaikka suositus ei ota kantaa sijaintiin niin kyseinen lämpötila-alue kattaa kuitenkin suurimman osan Suomessa esiintyvistä lämpötiloista, mutta ei kaikkia. Ei ole tavanomaista, että lämpötila laskee Suomessa kyseisen lämpötila-alueen alapuolelle.

#### 4.4 Kosteus ja kondensaatio

Kosteus on se termi, mikä kertoo vesi- tai vesihöyrymäärän ilmassa. Kosteus on myös huomioitava tekijä, koska se voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa komponentin tai laitteen vikaantumisen. Korkea kosteus altistaa metalliosat ja -komponentit korroosiolle ja kasvattaa oikosulkujen mahdollisuutta eri potentiaalissa olevien pisteiden välillä. Kuvassa 13 on havainnollistettu korkean kosteuden tyypillinen olomuoto: sumu.



**Kuva 13. Kosteus kenttäolosuhteissa [Kuva US Airforce].**

Kosteus voi tunkeutua laitteisiin monella eri tapaa, mutta suurin osa kosteudesta tulee usein jäähdytysilman mukana. Tässä tapauksessa kosteuden voi poistaa kahdella eri tapaa. Ensimmäinen tapa on päästää jäähdytysilman pelkästään koteloa vasten eikä laitteen sisälle. Toinen tapa on kanavoida jäähdytysilman kosteudenpoistorakeiden läpi ennen kuin se pääsee laitteen sisälle.

MIL-STD-801G -standardi antaa suosituksia mitä kosteuksia voi esiintyä riippuen sijainnista. Standardi jakaa kosteuden alueet kolmeen eri kategoriaan: B1: HIGH HUMIDITY, B2: VARIABLE HIGH HUMIDITY ja B3: HOT HUMIDITY. Kategoriat ovat havainnollistettu liitteessä 3.

Standardin mukaan Suomi kuuluu korkean kosteuden kategoriaan B1: HIGH HUMIDITY. Liitteessä 4 olevan taulukon mukaan Suomessa korkein kosteus voi olla operatiivisessa käytössä 95% – 100% välissä. Taulukon mukaan sama kosteus voi esiintyä myös kuljetuksessa tai säilytyksessä. Lämpötilakategorian A3: INTERMEDIATE (keskitaso) mukaan kosteus on 43% – 78%. Kuljetuksessa ja säilytyksessä aiheutetun kosteuden sanotaan vaihtelevan laajasti riippuen tapauksesta (12).

Luonnollinen korkea kosteus esiintyy Suomessa kaikkina vuodenaikoina paitsi talvella. Talvella matala lämpötila tekee sen, että ulkoilma ei pysty keräämään kosteutta niin paljon kuin se pystyisi lämpimänä.

## **4.5 Tärinä, värähtely, isku ja kiihtyvyys**

Kiihtyvyys syntyy, kun tarkasteltavaan kohteeseen kohdistuu voima, joka muuttaa kappaleen liiketilaa. Kohteen liikkuvuus perustuu kiihtyvyyteen. Kenttätetilaitteeseen kohdistuu kiihtyvyyksiä esimerkiksi kuljetuksen aikana. Tärinä on pitkä sarja kiihtyvyyksiä, joiden voimakkuus ja taajuus ovat usein hyvin epämääräisiä ja ennalta arvaamattomia. Värähtely on melkein sama kuin tärinä, mutta värähtely tapahtuu vain tietyllä taajuudella. Tämä taajuus on usein rakenteen ominaistaajuus tai resonanssitaajuus. Laitteeseen kohdistuu tärinää esimerkiksi, kun sitä kuljetetaan pyörillä asfaltin päällä. Värähtely syntyy esimerkiksi kun rakenteeseen kohdistuu

ulkoinen voima tai värinä jolloin rakenne alkaa värähdellä omalla resonanssitaajuudellaan. Värähtelyä esiintyy esimerkiksi mastoissa ja piipuissa tuulen vaikutuksesta. Isku on äkillinen kiihtyvyyssimpulssi, joka syntyy esimerkiksi törmäyksessä, pudotuksesta tai räjähdyksestä. Isku voi olla myös esineestä kohdistuva isku tarkasteltavaan rakenteeseen. Tällainen isku syntyy esimerkiksi, kun trukinpiikki osuu kuljetuslaatikkoon tai laite putoaa maahan.

Värähtelyn ja värinän aiheuttamat potentiaaliset ongelmat voivat olla hankautuneet kaapelit, löystyneet kiinnitykset, ajoittaiset sähköyhteydet, oikosulut, epämuodostuneet tiivisteet, komponenttien vioittumiset, muutoksia optiikan ja mekaniikan kohdistuksissa, mekaaniset halkeamat ja rikkoutumiset ja lisääntynyt sähköinen häiriö.

Liian suuri kiihtyvyys tai isku voi aiheuttaa rakenteessa säröilyä, repeytymistä, muodonmuutoksia ja taivutusta. Isku voi myös aiheuttaa mittausepävarmuutta mittalaitteissa. Ja vaikka sähkökomponentit ovat massaltaan pieniä, eivät kaikki sähkökomponentit kestä älyttömiä iskuja ja kiihtyvyyksiä.

Jos laitteeseen kohdistuu paljon iskuja ja kiihtyvyyksiä, on hyvä pitää komponenttien massat pieninä. Tämä tulee usein kyseeseen, jos suunnitellaan ilma-aluksessa olevaa laitetta. Sähkökomponentteja valittaessa voidaan laitteen iskun- ja kiihtyvyydenkestävyyttä parantaa valitsemalla valmistajan datalehden mukaan sähkökomponentteja, jotka kestävät suunnitellun iskun tai kiihtyvyyden. Rakenteen kiihtyvyys ja iskukestävyyttä voidaan parantaa vahvistamalla rakennetta. Rakennetta vahvistaessa on kuitenkin syytä muistaa, että silloin myös rakenteen massa kasvaa.

Värinän ja värähtelyn vaikutukset laitteeseen riippuu paljon rakenteen ominaistaajuudesta ja siihen kohdistuvasta voimasta. Rakenteen ominaistaajuus voi olla laitteen tietylle komponentille tai rakenteen osalle huono jolloin se hajoaa. Jos laitteeseen kohdistuvan voiman taajuus on sama tai hyvin lähellä rakenteen ominaistaajuutta alkaa rakenne resonoida jolloin värähtely jatkaa voimistumistaan kunnes jokin osa rakenteesta pettää.

Värinää ja värähtelyä voidaan pienentää sijoittamalla laitteen raskaimmat osat lähelle asennus- tai tukipisteitä. Yleensä helpoin tapa vaimentaa laitteeseen tulevaa värähtelyä ja värinää on asentaa laite vaimennusjousien tai vaimentavan materiaalin päälle. Rakenteen ominaistaajuutta voidaan myös saada alaspäin lisäämällä massaa ongelmakohtiin, mutta tällä on negatiivinen vaikutus kiihtyvyyksissä ja iskuissa. Lisäksi kenttätestilaitteen osien ja komponenttien kestävyttä voidaan lisätä tukemalla, liimauksella ja sidonnalla.

## 4.6 Sade ja lumisade



***Kuva 14. Lumisade kenttäolosuhteissa [Kuva US Navy].***

Koska kenttätestilaitte suunnitellaan toimimaan kenttäolosuhteissa eli lentotukikohdassa ja varatukikohdassa, on suunnittelussa huomioitava sateen ja lumisateen vaikutukset laitteen toimintaan (kuva 14). Ilmavoimien linjaus asiasta on, että kenttätestilaitteen tulisi olla roisketiivis ja sateenkestävä (Luhtalampi Harri, PVLOGI, sähköpostikeskustelu 1.12.2015).

Sateen, roiskeen ja vesitippojen tyypillisimmät vaikutukset laitteelle ovat materiaalien heikentyminen ja turpoaminen, korroosioriskin kasvu, eroosioriskin kasvu, homeriskin kasvu, painonnousu ja sähkölaitteiden tai komponenttien vikaantuminen. Sähkölaite tai komponentti voi myös mahdollisesti vikaantua niin, että kenttätestilaitetta ei ole enää turvallista käyttää.

Sateisena päivänä kenttätestilaitetta luultavasti käytetään hallissa ennen ensimmäistä lentoa ensimmäisen tarkastuksen yhteydessä. Tästä huolimatta kenttätestilaitte tulee suunnitella sateenkestäväksi. Kenttätestilaitetta voidaan tällöin käyttää myös tarvittaessa sateella. On myös kuitenkin huomioitava, että testattavan laitteen testaus on kielletty sateen tai lumisateen aikana.

Vaikka kenttätestilaitetta ei pääsääntöisesti käytettäisi ulkona, voi se silti altistua sateelle tai lumisateelle katoksen alla. Tämä on mahdollista, mikäli sivutuuli on riittävän voimakas. Kenttätestilaitte voi myös altistua vesitipoille katoksen alla, jos katoksen alapintaan muodostuu vesitippoja kondensaation ansiosta.

Sateenkestävä kenttätestilaitte tulisi olla IP-luokitukselta vähintään IP23, mutta hyvä olla esimerkiksi IP44. IP23 on sateenkestävä, mutta ei takaa suojausta vesiroiskeita vastaan.

IP44 sen sijaan on vesiroiskesuojattu. Sateenkestävyyttä voidaan mahdollisesti testata MIL-STD-810G testiryhmän 506.5 avulla. (15)

## 4.7 Matala ilmanpaine



***Kuva 15. Ilmakuljetus altistaa kenttätestilaitteen matalle ilmanpaineelle [Kuva Puolustusvoimat].***

Korkeuden tuomat haasteet tulee huomioida suunnittelussa, jos laitetta suunnitellaan käytettäväksi matalassa ilmanpaineessa tai kuljetettavaksi ilma-aluksessa (kuva 15). Matalassa ilmanpaineessa ilman tiheys on pienempi kuin maanpinnalla. Tämä johtaa siihen, että ilman dielektrinen vahvuus eli kyky eristää sähköä on myös pienempi kuin maanpinnassa. Ilman matala sähköneristysvyys tekee sen, että sähkölaitteissa voi esiintyä valokaaria, jotka aiheuttavat yleensä sähkölaitteen välittömän vioittumisen. Valokaari syntyy kun sähköllä on riittävästi potentiaalia hypätä heikon sähköeristysvyyden omaavalla ilman kautta vastakkaiseen potentiaaliin. Tämä tulee kuitenkin kyseeseen kun sähkölaitetta käytetään matalassa ilmanpaineessa.

Matalan ilmanpaineen vaikutukset tulee ottaa huomioon ilmakuljetuksessa. Mikäli säilytyslaatikko tai kuljetuslaatikko on huonosti suunniteltu, syntyy laatikon sisä- ja ulkopuolelle paine-ero. Tämä näkyy laatikon tiivisteiden vuotona tai laatikon muodonmuutoksena. Ongelman voi ratkaista paineenpurkausventtiilillä. Paineenpurkausventtiilillä saadaan laatikon sisällä ja ulkona olevaa paine-eroa pienemmäksi mikä tarkoittaa sitä, että laatikon kohdistuva rasitus pysyy hallinnassa. Paineentasausventtiilistä huolimatta tulisi kuljetuslaatikossa aina ylläpitää pientä paineistusta.

Esimerkiksi Houchinin C690 maavirtalähteessä valmistaja kertoo datalehdessä, että laite on suunniteltu toimimaan alle 1000 metrin korkeudessa merenpinnasta (14). Suomessa kuitenkin yli 1000 metrin korkeuksiin pääsee maanpinnalla ainoastaan Enontekiöllä ja muualla suomessa ollaan selvästi alle 1000 metrissä (16).



## 5. KENTTÄTESTILAITTEEN MEKAANISTEN VAATIMUSTEN KARTOITUS

### 5.1 Ulkoiset ominaisuudet

Kenttätestilaitteelle voidaan määrätä monia ulkoisia ominaisuuksia. Tyypillisimmät ulkoiset ominaisuudet ovat kenttätestilaitteen väri, ulkomitta, paino ja suojaus. Ulkoisiin ominaisuuksiin vaikuttaa paljon missä kenttätestilaitetta tullaan käyttämään ja säilytetään. Tavoite olisi, että kenttätestilaitte olisi kooltaan, painoltaan ja väriltään soveltuva kenttätestaukseen. On huomioitava myös se, että ulkoiset ominaisuudet kuten ulkomitta ja paino vaikuttavat myös laitteiston kuljetettavuuteen. Ilmavoimien mielestä kenttätestilaitteen tulisi olla kevyt (Luhtalampi Harri, PVLOGI, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). Kevyt kenttätestilaitte on helppo siirtää paikasta toiseen ja asetella paikalleen käyttökonfiguraatioon. Kuvassa 16 on esimerkki erään kaupallisen kenttätestilaitteen koosta.



**Kuva 16. Esimerkki kenttätestilaitteesta, PATS-70. Kenttätestilaitteen ulkoisille ominaisuuksille voidaan asettaa vaatimuksia, kuten esimerkiksi painolle ja ulkomitoille (17).**

Kenttätestilaitteen ulkomittojen vaatimukset ovat tyypillisesti joku maksimi raja, mitä testauslaitteisto ei saa ylittää. On hyvin tyypillistä myös, että kenttätestilaitteistolle asetetaan tietty ulkomitta toleransseineen. Tähän voi olla syy, että kenttätestilaitteen muotoa ja kokoa käytetään testauksessa hyväksi tai sille on suunniteltu etukäteen tietty säilytyspaikka. Kenttätestilaitetta halutaan ehkä mahtumaan tiettyyn paikkaan



testauksen aikana tai toimia osana kokonaisuutta, missä sen päälle tulee muita testauslaitteistoja tai mittauslaitteita.

Vaatimukset kenttätestilaitteen painolle on tyypillisesti pelkkä maksimipaino, koska harvemmin keveydestä on haittaa. Kenttätestilaitteella tulisi olla kuitenkin vähän painoa, ettei ilma-aluksen aiheuttama ilmavirtaus kaada tai lähetä kenttätestilaitetta lentoon. Maksimipainolla halutaan varmistaa, että kenttätestilaitteen paino pysyy hallinnassa, mikä vaikuttaa merkittävästi kenttätestilaitteen käsittelyssä kuljetuksessa ja säilytyksessä.

Vaatimukset kenttätestilaitteen ulkonäköön ovat yleensä hyvin suoraviivaiset. Kenttätestilaitteen halutaan sotilasilmailussa harvemmin erottuvan kentällä olevista muista laitteista ja ulkonäkö ei saa olla muutenkaan silmäänpistävä. Tämän takia vaatimuksena on tyypillisesti puolustusvoimien käyttämä suojaväri.

Koska kenttätestilaitteet tuottavat lämpöä on myös huomioitava, että sillä voi olla merkittävä infrapunasäteily, minkä voi havaita helposti kaukaa infrapunakameralla. Tällöin vaatimuksena voi olla se, että kenttätestilaitteet tulevat pintakäsitellä niin, että sen infrapunasäteily on vaimennettu halutulle tasolle. Kenttätestilaitteen infrapunasäteilyyn vaikutetaan maalauksella ja pintakäsittelyllä.

## 5.2 Sähköstaattinen purkaus

Sähköstaattinen purkaus kulkee usein lyhenteellä ESD (engl. Electrostatic Discharge). Purkaus tapahtuu, kun potentiaaliero kahden materiaalin välillä kasvaa niin paljon, että suurin osa elektroneista purkaantuu kerralla toiseen materiaaliin. Purkaantuminen on usein niin nopea ja pieni, että ihmisen silmä ei pysty sitä havaitsemaan. Vaikka purkaantuminen on pieni voi kyseessä olla monen tuhannen voltin purkaus, mikä voi helposti hajottaa ESD herkän sähkökomponentin.

Sähkökomponenttien ESD herkkyys johtuu siitä, että komponentissa käytetään puolijohdetekniikkaa. Puolijohdetekniikassa käytetään hyväksi puolijohtavaa materiaalia kuten piitä (engl. Silicon). Pii sopii erinomaisesti puolijohtavaksi materiaaliksi, mutta yksi sen suurimmista rajoitteista on sen rajallinen virrankestävyys. Sähköstaattinen purkaus aiheuttaa yleensä suuren hetkellisen virtapiikin, joka on liikaa piimateriaalille. Tällöin komponentti lakkaa toimimasta kokonaan tai osittain. Tämä on ongelmallista, koska ESD:stä aiheutuva vikaantuminen saattaa olla piilevä. Kenttätestilaitteen ESD -suojaus kannattaa siis huomioida jo suunnitteluvaiheessa.

On huomioitavaa, että EMC-testauksiin tarkoitettu MIL-STD-451 -standardi ei ota kantaa laitteen ESD -vaatimuksiin. Tämän takia sotilaskäyttöön tarkoitetut laitteet on ESD-testattava IEC/EN 61000-4-2 -standardin mukaisesti. (Pulkinen Janne, PVLOGI, sähköpostikeskustelu 9.12.2015)

ESD -suojausta ei voida ratkaista pelkästään yhdellä toimenpiteellä vaan suojausta nostetaan ja parannetaan monella eri ratkaisulla. ESD -suojauksen lähtökohtana on, että sekä käyttäjä ja laite saadaan samaan potentiaaliin ja näin saadaan potentiaaliero noltaan. Tämä ratkaistaan yleensä niin, että käyttäjällä on maadoitettu samaan maahan laitteen kanssa esimerkiksi ESD -rannekkeella ja/tai -kengillä. Suojausta voidaan parantaa vielä käyttämällä ESD -vaatteita. ESD -vaatteet eroavat tavallisista vaatteista siinä määrin, että ESD -vaatteet ovat puolijohtavia ja pinta suunniteltu estämään purkauksia. Kenttätestilaitteen osalta ESD -suojausta voidaan parantaa suojaamalla ESD -herkkiä sähkökomponentteja kosketukselta. ESD -herkät komponentit ovat esimerkiksi mikropiirit, transistorit ja tyristorit. Signaalit tulee olla myös ESD -suojatut, mikäli on vaara on, että kenttätestilaitteen käyttäjä pystyy koskemaan koskettimiin. Signaalien ESD -suojaus voidaan toteuttaa hankkimalla liittimille suojatulpat.

### 5.3 Sähkömagneettinen häiriö ja yhteensopivuus

Sähkömagneettinen häiriö EMI (engl. Electromagnetic Interference) on häiriö, joka aiheuttaa ei halutun jännitteen ja virran sähköpiirissä. Sähkömagneettista häiriötä esiintyy aivan perus sähkökomponenteista lähtien. Hyvä esimerkki sähkömagneettista häiriötä lähettävästä tasavirtalaitteesta on tasavirtalähde. Muita sähkömagneettista häiriölähteet ovat tyypillisesti loisteputkilamput, radio- ja tutkalaitteet, induktiomootorit, mikroprosessorit ja siihen kuuluvat laitteet, korkeataajuuksiset sähköpiirit, staattinen sähkö ja ukkonen.

Sähkömagneettinen häiriö on paha havaita sen näkymättömyyden takia. Tämän lisäksi sähkömagneettinen häiriö voi aiheuttaa vain hetkellisiä oireita ympärillä olevissa sähkölaitteissa. Sähkömagneettinen häiriö voi aiheuttaa esimerkiksi mittauslaitteissa ja mittareissa mittausvirheitä, ”vihellyksiä” tai korkeataajuuksisia ääniä äänisignaaleissa, kuvioita videonäyttölaitteissa, herkkyydenpudotuksen radio- ja tutkalaitteissa ja vääriä hälytyksiä hälytyslaitteissa. Erityisen häiriöherkät laitteet ovat radio- ja tutkavastaanottimet, mikroprosessorit, sähköinstrumentit, säätöjärjestelmät ja äänijärjestelmissä.

Sähkölaitteen kykyä vastustaa ulkopuolelta tulevaa sähkömagneettista häiriötä ja kykyä vaimentaa lähtevää sähkömagneettista häiriötä kutsutaan sähkömagneettiseksi yhteensopivuudeksi. Sähkömagneettinen yhteensopivuus tunnetaan myös lyhenteellä EMC (engl. Electromagnetic Compatibility). Nyrkkisääntönä on, että laitteet tulee suunnitella niin, että laite ei aiheuta häiriötä sähköverkkoon tiettyyn tasoon asti. Sähkölaite ei saa myöskään häiritä radio-, tutka- ja telelaitteiden toimintaa. Laitteelle tulee myös olla riittävä sähkömagneettinen häiriön sietokyky, jotta sen oma toiminta ei vaarantuisi. Yleisesti sanottuna laite on sähkömagneettisesti yhteensopiva, kun sen toiminta ei häiriinny ulkoisista tai sisäisistä sähkömagneettisista häiriöistä.

Ilmavoimien vaatimuksena on, että kenttätestilaitte tulisi täyttää vähintään EMC-direktiivin 2004/108/EY mukaiset vaatimukset (Luhtalampi Harri, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). EMC-direktiivin lisäksi sotilaskäyttöön tarkoitetut laitteet on vielä testattu MIL-STD-461 -sotilasstandardin mukaisesti. Näin on toimittu varsinkin EU:n ulkopuolelta hankittujen laitteiden kanssa. (Pulkkinen Janne, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 9.12.2015)

Vaikka kenttätestilaitteen EMC-vaatimuksena on EMC-direktiivin 2004/108/EY mukaiset vaatimukset, tulee kenttätestilaitteelle sovellettavat standardit ja niiden vaatimustasot määritellä hankintakohtaisesti. Määrittelyssä tulee ottaa huomioon kenttätestilaitteen käyttöympäristö ja käyttötavat. Lentokoneeseen sähköisesti liitettävälle laitteelle tulee luonnollisesti asettaa tiukemmat vaatimukset kuin laitteelle, jota käytetään korjaamon nurkassa etäällä lentokoneesta. Mikäli MIL-STD-461 -standardia sovelletaan, tulisi kenttätestilaitteelle asettaa standardin Airforce Ground tai Airforce Aircraft -vaatimukset. Laite voidaan hyväksyä Puolustusvoimille käytettäväksi pelkän MIL-STD-461 -testien perusteella. (Pulkkinen Janne, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 9.12.2015)

Kenttätestilaitteen suunnittelussa voidaan vaikuttaa merkittävästi laitteen EMI- ja EMC-ominaisuuksiin. Kotelon suunnittelulla, johtojen sijoittelulla, sähkökomponenttien sijoittelulla ja maadoituksen suunnittelulla voidaan ennaltaehkäistä suurimmat sähkömagneettiseen häiriön aiheuttamat ongelmat. Kotelon tiiveys ja sähkönjohtavuus vaikuttaa hyvin paljon kuinka paljon sähkömagneettista häiriötä se vaimentaa. Mitä tiiviimpi ja sähköjohtavampi kotelo on sitä paremmin se vaimentaa häiriötä. Johtojen sijoittelulla ja pitämällä ne mahdollisimman lyhyinä saadaan vähemmän sähkömagneettista häiriötä aikaiseksi. Mikäli tiedetään, että kenttätestilaitteeseen tulee sähkömagneettisesti herkkiä tai häiritseviä komponentteja tulisi ne sijoittaa erilleen toisistaan.

## **5.4 Liityntärajapinnat ja kaapelointi**

Testilaitteelle voidaan asettaa liityntärajapintavaatimuksia. Rajapinta voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: mekaaninen ja sähköinen. Näillä vaatimuksilla varmistetaan se, että kenttätestilaitteella on tarpeelliset rajapinnat toiminnan kannalta.

Mekaaninen rajapinta määrittää millä tavalla kenttätestilaitetta voidaan kiinnittää fyysisesti kiinni sille tarkoitettuun paikkaan ja millä tavalla kenttätestilaitte kytketään muihin laitteisiin. Jälkimmäistä tapaa kutsutaan myös nimellä laiterajapinta (kuva 17). Vaatimuksen voi olla, että kenttätestilaitte tulee olla kiinnitettävissä tietyn tyyppiseen alustaan. Lisävaatimuksena voi olla, että kiinnityksen tulee kestää tiettyjä ympäristöolosuhteita, kuten värinää. Kiinnitykselle voidaan laittaa myös vaatimus, että

millä huoltotasolla kenttätestilaitte voidaan irrottaa huoltoa varten. Mekaaniset vaatimukset kenttätestilaitteelle ovat harvinaisia, koska ne liikkuvat yleensä omassa kuljetuslaatikossa, toisin kuin lentävä laite, joka on lentokoneessa kiinni.



**Kuva 17. Avioniikkalaitteiden MIL-C-38999 -liittimet sotilasilmailukäytössä (18).**

Sähköisiin rajapintoihin kuuluu lähinnä laitteiden kyky kommunikoida toistensa kanssa. Tähän vaaditaan standardoitua protokollaa, kuten ARINC429 (engl. Aeronautical Radio Incorporated), ethernet, RS232, MIL-STD-1553B ja sen johdannaiset ja STANAG 3910. Tämä on myös hyvin tärkeä alue kenttätestilaitteen vaatimuksista, koska usein ei riitä pelkkä fyysinen yhteys vaan laitteiden on osattava kommunikoida keskenään. Laitteita ja järjestelmiä yhdistävät väylät, jotka mahdollistavat molemmin puoleisen tiedon jakamisen. Väylien kehitys on yksi suurimmista tekijöistä, joka on mahdollistanut avioniikkajärjestelmien nopean kehityksen sotilasilmailussa (5).



**Kuva 18. Eräiden avioniikkalaitteiden kaapelointi [Kuva General Dynamics].**

Kaapelointi on tärkeä osa testausta, koska laitteen testaus vaatii yleensä yhteyden laitteen ja kenttätestilaitteen välille. Tämän takia kenttätestilaitteelle tulee usein vaatimuksena kytkeytyä testattavaan laitteeseen.

Kaapelin (kuva 18) tehtävä on luoda galvaaninen yhteys kahden laitteen välille niin, että nämä kyseiset laitteet voivat kommunikoida keskenään halutulla tavalla. Riippuen

testattavasta laitteesta kenttätestilaitteella on mahdollisesti oltava kyky ohjata väylän kautta testattavaa laitetta eri tiloihin. Tämän lisäksi kenttätestilaitteella on oltava kyky mitata laitteen antamia arvoja kaapelin kautta.

Koska testattavan laitteen liittimiä tai sen kytkentöjä ei voida muuttaa, pitää kaapelin liittimet ja kenttätestilaitteen kytkennät suunnitella niin, että tarvittavat ohjaukset ja mittaukset voidaan tehdä. Tämä vaatii sen, että laitteen liittimien osanumerot ja kytkennät ovat tiedossa. Oikean liittimen valinta on tärkeätä, koska sillä voi olla vaikutuksia hermeettiseen suojaukseen, EMC -yhteensopivuuteen, esto väärinkytkemiseen, kytkennän mekaaniseen vahvuuteen ja kaapelin vedoneston vahvuuteen. Kuvassa 19 on havainnollistettu MIL-C-38999 -standardin liittimiä, jotka ovat tyypillisesti käytössä sotilasilmailussa. Liittimissä on haittoja, jotka estävät väärinkytkeytymisen. Liittimet antavat myös sotilasilmailun kannalta tärkeän hermeettisen ja EMI suojan.



**Kuva 19. MIL-C-38999 -standardin mukaiset liittimet (18).**

Liitännöissä pitää ottaa myös huomioon siirrettävän suureen piirteet ja ominaisuudet. Esimerkiksi liittimen tarvittava jännitekestävyys virrankestävyys ja eristettävyys on otettava huomioon. RF-signaalit vaativat omanlaisensa liittimen. Lentokoneen avioniikkalaitteiston kaapeloinnissa on usein käytetty avainnusta estääkseen vääriä kytkentöjä. Avainnus pitää huomioida sekä laitteessa että kaapelissa.

Liittimiltä vaaditaan paljon ja siksi niiden tulee olla riittävän laadukkaita. Tämän takia sotilaskäyttöön tarkoitetut liittimet ovat myös hyvin kalliita ja saatavuus hyvin rajoitettua. Tavallisesti valitaan liitin, minkä laitevalmistaja on määritellyt kytkettävän laitteeseen. Laitevalmistaja on yleensä kertonut osanumeron kyseiselle liittimelle. Tilaamalla liitin osanumeron mukaisesti voidaan olla varmoja, että liittimellä on oikeat ominaisuudet ja sopii testattavaan laitteeseen.

Liittimien ja kytkentöjen lisäksi kaapelin häiriönsuoja ja vaippamateriaali tulee olla oikeanlainen. Koska kaapelia käytetään ilma-alusympäristössä, tulee sen EMC:tä tarkastella kenttätestilaitteen EMC:n tarkastelun yhteydessä. Kaapeli ei saa olla liian altis sähkömagneettisille häiriöille, mikä johtaisi siihen, että testauksen toiminta häiriintyisi. Samalla testaus ei saa aiheuttaa kaapelin kautta liikaa sähkömagneettista häiriötä ympäristössä oleville laitteille kuten ilma-aluksille. Kaapelin sähkömagneettista vaimennusta parannetaan kaapelissa olevalla häiriönsuojauksella. Vaippamateriaalilla

voidaan vaikuttaa kaapelin jäykkyyteen ja kulumiskestävyyteen. Kaapelin tulee olla sopivan jäykkä niin että se tukee sisällä olevia kaapeleita eikä altista niitä liian jyrkille mutkille. Kaapeli voi olla myös liian jäykkä jolloin liittimen kytkeminen laitteeseen voi olla hankalaa, koska jäykkä kaapeli taistelee vastaan niin paljon, että kaapelin liitintä on vaikea saada suoraan laitteen liittimeen nähden. Kaapelin vaatimuksia määriteltäessä on myös huomioitava pakkasenkesto.

## 5.5 Toiminnalliset vaatimukset

Kenttätestilaitteen toiminnalliset vaatimukset ovat sen yksi tärkeimmistä vaatimuksista. Nämä vaatimukset perustuvat kenttätestilaitteen suunniteltuun käyttötarkoitukseen eli avioniikkalaitteen testaukseen. Avioniikkalaitteen testaus voi olla erittäin yksinkertainen tai hyvin monimutkainen. Kunkin avioniikkalaitteen testauksen laajuus on määritetty sen ohjekirjassa jonka laitevalmistaja on laatinut. Yleensä laitevalmistajan huolto-ohjeita noudatetaan alusta loppuun, kun kyseessä on laitteen huolto. Kenttätestilaitteella ei aina kuitenkaan haluta välttämättä testata laitetta huollon määrittelemällä tasolla. Kenttätestilaitteella voidaan esimerkiksi suorittaa perushuoltoa suppeampi testi, jolla arvioidaan pelkästään laitteen toimintakunto. Perushuolto voidaan suorittaa myöhemmin erikseen Puolustusvoimien huoltojoukoissa tai Puolustusvoimien valitsemalla ulkopuolisessa huolto-organisaatiossa.

Kenttätestilaitteen pitää olla myös kyky mitata fysikaalisia suureita. Nämä suureet voivat olla esimerkiksi virrankulutus, jännite, johtavuus, signaali, lämpötila ja värähtely. Esimerkiksi erään ilma-aluksen kohtauskulma-anturin jäänestokykyä testataan mittaamalla sen virrankulutusta, lämpötilaa ja värähtelyä jäänestotilassa.

Pääsääntöisesti näiden suureiden mittaukset tarvitsevat siihen tarkoitetun mittalaitteen. Harvoissa tapauksissa voidaan elektronisesti muuttaa signaali siten, että kenttätestilaitteessa oleva piiri pystyy mittaamaan signaalia. Mittalaittevalmistajat tarjoavat moduulisia mittalaitteita jotka ovat helppo integroida kenttätestilaitteen sisälle. Mittalaitetta valittaessa pitää ottaa huomioon mittalaitteen spesifikaatiot, jotta se soveltuu kenttätestilaitteen käyttöön. Tärkeimmät mittalaitteen spesifikaatiot kenttätestilaitteen kannalta ovat mittatarkkuus, mitta-alue ja käyttölämpötila. Nyrkkisääntönä on ollut, että mittalaitteen tarkkuus on dekadin verran eli kymmenen kertaa tarkempi kuin testattavan suureen tarkkuus. Mitattava tarkkuus on kuitenkin usein mainittu laitevalmistajan huolto-ohjeessa.

Aina ei ole järkevää tai mahdollista integroida mittalaitemoduuleita kenttätestilaitteen sisälle. Tällaisessa tapauksessa on usein kysymys monimutkaisesta tai erittäin tarkasta mittauksesta kuten signaalimittauksesta tai taajuusmittauksesta. Syynä voi olla myös, että mittalaitteen anturi tai itse mittalaitte pitää sijaita jossain muualla kuin itse kenttätestilaitteella. Nykyään mittalaittevalmistajat antavat mahdollisuuden lukea mittatuloksen suoraan mittalaitteelta. Kalleimmilla ja kehittyneimmillä mittalaitteilla on

ominaisuutena kommunikointiväylä, jonka kautta on mahdollista ohjata mittalaitetta ja lukea mittalaitteen mittaustuloksia. Kenttättestilaite voidaan suunnitella niin, että se pystyy kommunikoimaan ulkoisen mittalaitteen kanssa. Mittalaittevalmistajalla kertoo usein käyttöohjeessa kuinka mittalaitetta voidaan ohjata sähköisesti.

Usein kenttättestilaitteen mittalaitteella mitataan useita signaaleita saman kaapelin kautta. Koska jokaisella mittaushetkellä halutaan mitata vain tiettyjä signaaleja, tarvitaan kyky ohjata mittalaitteelle vain sillä hetkellä haluttuja signaaleja. Tätä ominaisuutta kutsutaan signaalien multipleksauksesta. Multipleksaus voidaan toteuttaa mekaanisesti kiertokytkimillä tai käyttämällä piirejä, jotka ohjaavat signaaleja halutulla tavalla. Toinen tapa ratkaista signaalien ohjaus on antaa käyttäjän tehdä kytkennät itse.

Kenttättestilaite ja testattava avioniikkalaite tarvitsevat sähköä toimiakseen. Yleensä kenttättestilaite suunnitellaan antamaan tarvittavan käyttöjännitteen testattavalle laitteelle. Tavallisesti kenttättestilaite saa tarvittavan sähköön ulkoisesta jännitelähteestä, kuten esimerkiksi verkkovirrasta, tai maavirtalähteestä. Kenttättestilaite voidaan myös suunnitella akkukäyttöiseksi. Ilmavoimien näkemys asiasta on, että kenttättestilaitteen tulisi olla akkukäyttöinen (Luhtalampi Harri, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). Akkukäyttöinen kenttättestilaite olisi riippumaton ulkoisesta jännitelähteestä testauksen aikana. Haittapuolena olisi akkujen tuoma paino kenttättestilaitteelle, mikä voisi heikentää kenttättestilaitteen kuljetettavuutta ja käsittelyä. Voidaanko kenttättestilaite suunnitella akkukäyttöiseksi riippuu testattavasta laitteesta.

Kenttättestilaitteen kyky käyttää, muuttaa ja antaa jännitettä kuuluu sen toiminnallisiin vaatimuksiin. On mahdollista, että avioniikkalaitteen testaus vaatii useamman eri jännitetyypin. Koska testattava laite on lentävä laite, tulee kenttättestilaitteen antama jännite olla voimassa olevien standardien mukainen (Pulkkinen Janne, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 9.12.2015). MIL-STD-704F määrittelee lentokoneympäristössä käytettävät tasasähkö- ja vaihtosähköjännitteet (19). Taulukoissa 2, 3, ja 4 on näytetty MIL-STD-704F -standardin mukaiset toleranssit vaihto- ja tasajännitteelle. Mikäli kenttättestilaitteelle tuleva jännite muutetaan testattavalle avioniikkalaitteelle oikeaksi, tulee jänniteulostulo olla MIL-STD-704F -standardin mukainen.

***Taulukko 2. 115VAC 400Hz - vaihtojännitteen toleranssit lentokoneympäristössä***

Arvo	Toleranssi
<b>Jännite</b>	108,0 ... 118,0 V RMS
<b>Särö</b>	0,05 maksimi
<b>Taajuus</b>	393 ... 407 Hz

**Taulukko 3. 115 VAC 60Hz - vaihtojännitteen toleranssit lentokoneympäristössä**

Arvo	Toleranssi
<b>Jännite</b>	105,0 ... 125,0 V RMS
<b>Särö</b>	0,05 maksimi
<b>Taajuus</b>	59,5 to 60,5 Hz

**Taulukko 4. 28VDC - tasajännitteen toleranssit lentokoneympäristössä**

Arvo	Toleranssi
<b>Jännite</b>	22,0 ... 29,0 VDC
<b>Särö</b>	0,035 maksimi

## 5.6 Vaatimuksena kuljetettavuus

Testauslaitteen kuljetettavuus tulee suunnitella perusteellisesti. On muistettava, että kuljetettavuus vaikuttaa myös muihin suunnittelun vaatimuksiin. Hyvä ratkaisu on ollut suunnitella kenttätestilaite niin, että se pystyy käyttämään käytön aikana olevaa laatikkoa myös kuljetuslaatikkona. Tällä ratkaisulla kenttätestilaitteen ympärillä oleva laatikko ottaa suurimman osan rasituksista vastaan.

Kuljetettavuutena tarkoitetaan sitä, millä tavalla testauslaitetta voidaan kuljettaa. Tavoitteena voi olla, että testauslaitteistoa tulisi olla mahdollista kuljettaa kuljetusajoneuvossa tai ilma-aluksessa. Vaatimuksena voi olla, esimerkiksi, että testauslaitteiston kuljettaminen tulisi onnistua yhden henkilön voimin. Ilmavoimien mielestä tämä on tärkeä ominaisuus (Luhtalampi Harri, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). Kuljetettavuudelle voidaan asettaa myös kiihdytysvaatimuksia. Esimerkki kiihdytysvaatimuksesta olisi suunnitella kenttätestilaite kestäämään  $\pm 10$  G kiihtyvyyksiä. Vaatimuksena voi olla, että erikoispakkaus tulisi olla trukilla liikutettava. Kuljetettavuudessa tulee myös ottaa huomioon iskunkestävyys.

Suurin tekijä, mikä vaikuttaa kuljetettavuuteen on kuljetusmuoto. Rasitukset ovat erilaiset eri kuljetusmuodoissa, ei pelkästään amplitudiltaan vaan myös esiintymistiheydeltään. Suurimmat kiihtyvyydet tulevat testauslaitteistoa käsiteltäessä. Jopa muutaman senttimetrin pudotus kovalle alustalle aiheuttaa helposti yli 10 G kiihtyvyyden osuessaan maahan. Laitteet kuten mittalaitteet ovat erittäin herkkiä kovalle



kiihtyvyyksille. Kiihtyvyyksien lisäksi kuljetuksessa tulee ottaa huomioon värinän, lämpötilan ja kosteuden aiheuttamat rasitukset.

Kuljetettavuudessa pitää ottaa huomioon millä kuljetusmuodolla testilaitetta olisi tarkoitus kuljettaa. Kiihtyvyyden, ilmanpaineen ja värinän kannalta on suuri ero kuljetetaanko kenttättestilaitetta maantiekuljetuksella tai ilmatiekuljetuksella. Ilmatiekuljetuksessa kenttättestilaitteeseen kohdistuvat kiihtyvyydet ovat suuremmat kuin maantiekuljetuksessa, kun taas maantiekuljetuksessa värinät ovat voimakkaammat kuin ilmatiekuljetuksessa. Mikäli mahdollista tulisi valitun kuljetusmuodon rasitukset mitata ja käyttää hyväksi kuljetettavuuden vaatimusten todentamisessa.

## 5.7 Elinkaareen liittyvät vaatimukset

Vaatimuksia voidaan myös kohdistaa kenttättestilaitteen elinkaarelle, esimerkiksi käyttöönnotolle, käytölle, ylläpidettävyydelle, huollettavuudelle, toimintavarmuudelle ja poistolle. Käyttöönottoa, käyttöä, ylläpidettävyyttä ja huollettavuutta voidaan tarkastella laitteiston ja ohjelmiston näkökulmasta.

Käyttöönnotolla tarkoitetaan niitä toimenpiteitä mitä vaaditaan, että saadaan kenttättestilaitte käyttöön ensimmäisen kerran. Kenttättestilaitteen käyttöönnotto voi vaatia tietyn koulutuksen käyttäjälle, laitteiston, ohjelman tai tilan. Vaatimuksilla voidaan ottaa kantaa siihen millä resursseilla käyttöönnotto tulisi onnistua. Yksi elinkaareen liittyvä vaatimus voisi olla esimerkiksi kuinka laajan koulutuksen käyttäjän tulisi käydä osatakseen käyttää kenttättestilaitetta oikein ja turvallisesti. Vaatimuksena voi olla ne tarvittavat laitteet ja ohjelmistot mitkä käyttöönnotto vaatii kuten esimerkiksi tietopurkulaitteistot ja -ohjelmistot.

Kenttättestilaitteen käytölle voidaan myös asettaa vaatimuksia. Vaatimukset voivat koskea niitä käyttötapauksia missä kenttättestilaitteen tulee toimia. Käyttöön liittyvät vaatimukset voivat olla myös käytön vaikeusasteeseen liittyvä. Ilmavoimien suositus on, että kenttättestilaitte olisi helppokäyttöinen (Luhtalampi Harri, PVLOGI, sähköpostikeskustelu 1.12.2015).

Ylläpidolla tarkoitetaan niitä toimintoja, joilla varmistetaan kenttättestilaitteen toimivuus ja kunto. Ideaalikenttättestilaitte olisi ylläpitovapaa, mutta sitä ei aina voida toteuttaa. Hyvin yksinkertainen kenttättestilaitte on yleensä lähes ylläpitovapaa. Sähköisesti monimutkaiset kenttättestilaitteet voivat tarvita toimintoja joilla varmistetaan sen toimintakunto. Kenttättestilaitteella voi olla esimerkiksi itsetestauskyky jota käyttäjä voi ajaa testauksen alussa varmistuakseen kenttättestilaitteen oikeasta toiminnasta.

Huollettavuus on kenttättestilaitteen elinkaaren yksi vaatimustekijä, jota tulee miettiä. Hyvin suunniteltu kenttättestilaitte on suhteellisen huoltovapaa, mikä tarkoittaa sitä, että kenttättestilaitte on helppo ja nopea huoltaa. Kenttättestilaitte sisältää kuitenkin usein

mittalaitteita, jotka pitää kalibroida tietyin jaksoin riippuen mittalaitteesta ja tarkkuusvaatimuksesta. Vaatimuksella voidaan määrittää esimerkiksi kuinka usein kenttätestilaitte saa olla toiminnallinen ennen kuin se on vietävä kalibrointiin. Vaatimuksella voidaan myös määrittää kuinka helposti kalibrointi tulisi tehdä. Huollettavuus ei koske pelkästään kenttätestilaitteen laitteistoa vaan myös ohjelmistoa. Kenttätestilaitteen ohjelmisto olisi hyvä olla päivitettävissä tai korjattavissa. Tämä on hyvä ominaisuus, mikäli kenttätestilaitteelle tulee kehitystarpeita.

Kenttätestilaitteen toimintavarmuudelle voidaan myös asettaa vaatimus. Toimintavarmuudella tarkoitetaan sitä todennäköisyyttä millä kenttätestilaitte toimii oikein, kun sitä käytetään. Ilma-aluksilla on myös samanlainen mittari. Toimintavarmuuteen voidaan vaikuttaa komponenttivalinnoissa valitsemalla toimintavarmoja komponentteja ja pitämällä komponenttimäärät mahdollisimman pienenä.

Kenttätestilaitteen elinkaaren viimeinen vaihe on poisto. Sillä tarkoitetaan niitä tarvittavia toimenpiteitä millä saadaan kenttätestilaitte esimerkiksi kierrätykseen, varastointiin tai myyntiin. Poisto ei ole niin suoraviivaista, jos laitteisto on salainen tai sisältää salaista tietoa sen muistipiirissä tai kovalevyllä. Poiston yhdeksi ongelmaksi voi myös muodostua se, että laitteisto sisältää ympäristölle vaarallisia aineita tai sitä voidaan käyttää aseena. Tämä harvemmin koskee kenttätestilaitteita. Vaatimuksena voi olla kuitenkin määritelty kuinka helposti kenttätestilaitte tulisi olla mahdollista poistaa käytöstä kokonaan.

## 5.8 Yleiset vaatimukset

Yleisillä vaatimuksilla tarkoitetaan niitä vaatimuksia jota standardit, asetukset, direktiivit ja toimintajärjestelmät asettavat. Vaatimusmäärittelyssä määritellään tuotteen yleiset vaatimukset eli ne standardit, asetukset, direktiivit ja toimintajärjestelmät jotka otetaan huomioon tuotteen suunnittelussa. Yleiset vaatimukset voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: laatuvaatimukset, turvallisuusvaatimukset ja sisäiset vaatimukset.

Laatuvaatimuksena on käytännössä aina jokin AQAP-julkaisu. AQAP-julkaisun lisäksi laatuvaatimuksena on myös ISO 9001:2008 -standardi. Käytettävä AQAP-julkaisun valinta perustuu hankkeen laajuuteen ja riskeihin (7). Mitä enemmän hankkeen toteuttamisessa on riskejä, sitä vaativampi valittava AQAP-julkaisu on (7). Valittava AQAP-julkaisu voi olla jokin näistä: AQAP-2110, AQAP-2120, AQAP-2130 ja AQAP-2131 (20) (21) (22) (23). Edellä mainituista AQAP-julkaisuista AQAP-2110 on raskain ja AQAP-2131 kevyin (7). Hankkeissa käytetään usein AQAP-2110 tai AQAP-2131. AQAP-julkaisujen eroavaisuudet ja AQAP-julkaisun valinta on kerrottu tarkemmin AQAP-2009 -julkaisussa (7).

Turvallisuusvaatimukset ovat ne vaatimukset, jotka liittyvät tuotteen turvalliseen käyttöön sekä käyttäjälle että ympäristölle. Tyypillisimmät turvallisuusvaatimukset ovat konedirektiivistä ja pienjännitedirektiivistä. Riippuen tuotteen käyttötarkoituksesta voi olla mahdollista, että turvallisuusvaatimuksiin on huomioitava myös EMC-direktiivin, ATEX-laite-direktiivin ja RoHS-direktiivin tuomat vaatimukset.

Konedirektiivi 2006/42/EY käsittelee koneen tai laitteen turvallista käyttöä mekaanisesta näkökulmasta. Konedirektiiviä tulee noudattaa mikäli konetta tai laitetta käytettäessä vaarana on, että käyttäjä jää osien väliin tai alle. Tämä tulee kyseeseen kun laitteessa tai koneessa on liikkuvia osia. Konedirektiivi käsittelee myös turvakomponentteja. (15)

Pienjännitedirektiivin 2006/95/EY (LVD, Low Voltage Directive) koskee kaikkia sähkölaitteita, joiden käyttöjännite on 50 - 1000 V vaihtojännitteellä ja 75-1500 V tasajännitteellä. Direktiivin tarkoituksena on asettaa ne turvallisuustavoitteet, joilla saavutetaan henkilöiden, kotieläinten ja omaisuuden turvallisuus vaikka sähkötuotetta käytettäisiin, asennettaisiin tai huollettaisiin väärin. (24)

ATEX-laite-direktiivi 1994/9/EY (ATEX, ATmosphères EXplosibles) koskee sekä sähkö- että mekaanisia laitteita räjähdysvaarallisissa tiloissa. Direktiivissä määritellään vaadittava turvallisuustaso ja vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely. (25)

RoHS-direktiivi (Restriction of Hazardous Substances) (2011/65/EU) koskee sähkö- ja elektroniikkalaitteita, missä rajoitetaan kadmiumin, lyijyn, elohopean, kuudenarvoisen kromin, polybromattujen bifenyyliden (PBB) ja polybromattujen difenyyleetterien (PBDE) käyttöä. Direktiivillä pyritään suojelemaan ympäristön ja ihmisten terveyttä tuotteen käytön, poiston ja kierrätyksen aikana. (26)

Sisäisillä vaatimuksilla tarkoitetaan Instan omia vaatimuksia. Instan omat vaatimukset tulevat Instan toimintajärjestelmästä eli laadunhallintajärjestelmästä. Laadunhallintajärjestelmä käsittää Instan sisäiset menettelytapaohjeet huoltotoimintaan liittyen. Kyseiset ohjeet perustuvat huolto-organisaation kohdistuviin vaatimuksiin SIM-To-Lt-001 -sotilasilmailumääräyksestä. SIM-To-Lt-001 - huoltotoimintalupa edellyttää, että huolto-organisaation sisäiset ohjeet ovat määräysten mukaiset.

## 6. KENTTÄTESTILAITTEEN VAATIMUS- JA TODENTAMISMATRIISI

Isoissa hankkeissa tuotteella on yleensä monta vaatimusta. Vaatimusten hallinnan helpottamiseksi kaikki vaatimukset esitetään matriisissa. Matriisissa jokainen vaatimus on yksilöity ja määritelty. Samassa matriisissa on otettu kantaa myös vaatimuksen todentamistapaan ja hyväksyntäkriteeriin. Matriisia kutsutaan todentamis- ja vaatimusmatriisiksi.

Tässä kappaleessa on listattu kenttätestilaitteen vaatimukset matriisimuodossa. Samalla on määritelty vaatimuksen todentamistapa ja hyväksyntäkriteeri. Ensimmäisenä on listattu kenttätestilaitteen laatuvaatimukset. Seuraavaksi on listattu kenttätestilaitteen turvallisuusvaatimukset. Viimeiseksi on listattu kenttätestilaitteen tuotevaatimukset.

Vaatimukset ovat hyvin riippuvaisia testattavasta avioniikkalaitteesta. Tässä työssä testattavan avioniikkalaitteen oletetaan olevan suhteellisen pieni, kuten esimerkiksi kohtauskulma-anturi tai radiolaitte. On todennäköistä, että tulevan kenttätestilaitteen testattava laite on toiminnaltaan yksinkertainen. Tämä mahdollistaa akkukäyttöisen kenttätestilaitteen.

Taulukossa 5 on listattu kenttätestilaitteen laatuvaatimukset. Kenttätestilaitteen laatuvaatimuksena ovat AQAP-2110 julkaisun vaatimukset, ISO 9001:2008 -standardin vaatimukset ja Instan omat vaatimukset. Instan omat vaatimukset perustuu SIM-To-Lt-001 -määräyksen asettamiin vaatimuksiin huolto-organisaatiolle.

***Taulukko 5. Kenttätestilaitteen laatuvaatimukset***

<b>Laatuvaatimukset</b>	<b>Todentamistapa</b>	<b>Todiste</b>
<b>AQAP-2110</b>	Katselmointi	CoC
<b>ISO 9001:2008</b>	Katselmointi	CoC
<b>Instan omat vaatimukset (SIM-To-Lt-001)</b>	Katselmointi	CoC

Taulukossa 6 on listattu kenttätestilaitteen turvallisuusvaatimukset. Kenttätestilaitteen turvallisuusvaatimuksena on pelkästään pienjännitedirektiivi 2006/95/EY.

Sähköturvallisuusvaatimukset noudattaen taataan kenttätestilaitteen sähköturvallisuus, mikä on yhtenä Ilmavoimien suosituksena (Luhtalampi Harri, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). Konedirektiivi 2006/42/EY ei sovelleta kenttätestilaitteen vaatimukseen, koska kenttätestilaitteessa ei ole liikkuvia osia. Kenttätestilaitteen suunnittelu- ja valmistusvaiheessa tulee noudattaa edellä mainittuja julkaisuja, määräyksiä ja standardeja. Laatu- ja turvallisuusvaatimukset todennetaan täyttyneeksi katselmoinnissa ennen tuotteen luovutusta. Katselmoinnissa katsotaan asiakkaan kanssa vaatimuksenmukaisuustodistus (CoC) läpi, missä todennetaan onko vaatimuksia noudatettu. Katselmoinnin lisäksi sähköturvallisuus todennetaan myös erillisillä eristelujuus-, eristevastus- ja PE-jatkuvuusmittauksilla (Hyyti Pekka, Insta ILS Oy, suullinen tiedonanto 30.11.2015)(Kuivanen Pentti, PVLOGL, puhelinkeskustelu 9.10.2015).

**Taulukko 6. Kenttätestilaitteen turvallisuusvaatimus**

Turvallisuusvaatimukset	Todentamistapa	Todiste
Pienjännitedirektiivi 2006/95/EY	Katselmointi ja testaus	CoC ja testiraportit

Taulukossa 7 on esitetty kenttätestilaitteen tarkat tuotevaatimukset. Tuotevaatimukset perustuvat edellisen kappaleen päätelmiin ja läpikäytyihin asioihin.

**Taulukko 7. Kenttätestilaitteen tuotevaatimukset.**

ID	Vaatimus	Todentamistapa	Hyväksyntäkriteeri
<b>1</b>	<b>Toiminnalliset</b>		
<b>1.1</b>	Laitteen käynnistys	Testaus	Laite käynnistyy
<b>1.2</b>	Laitteen sammutus	Testaus	Laite sammuu
<b>1.3</b>	Laitteen ohjaus testi-tilaan	Testaus	Laite suorittaa testin
<b>1.4</b>	Laitteen ohjaus BIT-tilaan	Testaus	Laite suorittaa BIT
<b>1.5</b>	Testaus voidaan suorittaa ilman ulkoista virtalähdettä.	Demonstraatio/ kenttäkokeilu	Laiteella voidaan suorittaa testaus ilman ulkoista virtalähdettä
<b>1.6</b>	DC-sähkönsyöttö laitteelle: 5 V	Testaus/tarkastus	Laite saa 5 VDC
<b>1.7</b>	DC-sähkönsyöttö: 28 V, MIL-STD-704F mukainen	Testaus/tarkastus	Kenttätestilaite syöttää 28VDC MIL-STD-704F -standardin mukaan
<b>1.8</b>	AC-sähkönsyöttö 115 VAC, MIL-STD-704F mukainen	Testaus/tarkastus	Kenttätestilaite syöttää 115 VAC MIL-STD-704F -standardin mukaan
<b>1.9</b>	DC-jännitemittaus 0-50 VDC, tarkkuus: vähintään 10-kertainen mitattavaan suureen nähden	Testaus/tarkastus	Valitun DC-jännitemittalaitteen tarkkuus 10-kertainen mitattavaan suureen

			nähdessä 0-50VDC alueella
1.10	AC-jännitemittaus 0-200 VAC, tarkkuus: vähintään 10-kertainen mitattavaan suureen nähden	Testaus/tarkastus	Valitun AC-jännitemittalaitteen tarkkuus 10-kertainen mitattavaan suureen nähden 0-200VAC alueella
1.11	Taajuusmittaus, tarkkuus: vähintään 10-kertainen mitattavaan suureen nähden	Testaus/tarkastus	Valitun taajuusmittarin tarkkuus 10-kertainen mitattavaan suureen nähden
1.12	Resistanssimittaus, tarkkuus: vähintään 10-kertainen mitattavaan suureen nähden	Testaus/tarkastus	Valitun resistanssimittarin tarkkuus 10-kertainen mitattavaan suureen nähden
1.13	Ulkoilman lämpötilan mittaus, tarkkuus 0.1C°	Testaus/tarkastus	Valitun lämpötilamittarin tarkkuus 0.1C° tai enemmän
1.14	Vallitseva ilmanpaine, tarkkuus: 0,1 mbar	Testaus/tarkastus	Valitun ilmanpainemittarin tarkkuus 0,1 mbar tai enemmän
1.15	Aika: resoluutio vähintään 10ms	Tarkastus	Kellon resoluutio vähintään 10 ms
2	<b>Ympäristö</b>		
2.1	Lämpötila -40...40°C käytössä	501.5 proseduuri II ja 502.5 proseduuri II	Kenttättestilaitte läpäisee olosuhdetestit
2.2	Lämpötila -40...60°C kuljetuksessa	501.5 proseduuri I ja 502.5 proseduuri I	Kenttättestilaitte läpäisee olosuhdetestit
2.3	Lämpötila -40...60°C varastoituna	501.5 proseduuri I ja 502.5 proseduuri I	Kenttättestilaitte läpäisee olosuhdetestit
2.4	Ilmankosteus 95%, ei kondensoiva	507.5 proseduuri I B1	Kenttättestilaitte läpäisee olosuhdetestin
2.5	Kenttättestilaitte roiske-, lumisateen- ja sateenkestävä	506.5 proseduuri I	Kenttättestilaitte läpäisee olosuhdetestin
2.6	Matala ilmanpaine: ei vaatimusta	-	-
2.7	Tärinä, kuljetus	514.6 proseduuri II	Kenttättestilaitte läpäisee olosuhdetestin
2.8	Iskut, käyttö	516.6 proseduuri I	Kenttättestilaitte läpäisee olosuhdetestin
2.9	EMC, lentokoneympäristö	Testaus 2004/108/EY,	Kenttättestilaitte läpäisee EMC -testin

		MIL-STD-461 (valinnainen)	
<b>3</b>	<b>Ulkoiset ominaisuudet</b>		
<b>3.1</b>	Paino: maksimipaino 25kg	Testaus	Kenttätestilaitte painaa 25 kg tai alle
<b>3.2</b>	Ulkomitat, maksimi: 50 cm x 50 cm x 50 cm	Tarkastus	Kenttätestilaitteen ulkomitat eivät ylitä yli sallitun.
<b>3.3</b>	Kenttätestilaitte asennettu omaan laatikkoon	Testaus	Kenttätestilaitte asennettu omaan laatikkoon
<b>3.4</b>	Kenttätestilaitteeseen kuuluvat laitteistot ja tarvikkeet voidaan säilyttää samassa laatikossa kuin itse kenttätestilaitte	Testaus/ demonstraatio	Kenttätestilaitteeseen kuuluvat laitteistot ja tarvikkeet voidaan säilyttää samassa laatikossa kuin itse kenttätestilaitte
<b>4</b>	<b>Liityntärajapinnat ja kaapelointi</b>		
<b>4.1</b>	Mittalaiterympäristön ja tarvittavien testilaitteiden välillä tulee tehdä tarvittava kaapelointi	Tarkastus	Mittalaiterympäristön ja tarvittavien testilaitteiden välillä tulee tehdä tarvittava kaapelointi
<b>4.2</b>	Liittimet testattavan laitevalmistajan määrittelemät	Tarkastus	Liittimet testattavan laitevalmistajan määrittelemät
<b>4.3</b>	Väärinkytkeä tulee estää avainnuksella	Tarkastus	Liittimissä avainnus
<b>4.4</b>	Kaapelin materiaali tulee kestää -40...40°C lämpötilan	Testi	Kaapeli kestää
<b>4.5</b>	Liittimen pinnit ESD-suojattu	Tarkastus	Liittimen pinneissä ESD-suojat
<b>5</b>	<b>Kuljetettavuus</b>		
<b>5.1</b>	Siirrettävissä ja käsiteltävissä yhden henkilön voimin	Demonstraatio	Kenttätestilaitteen siirto ja käsittely onnistuu yhden henkilön voimin
<b>5.2</b>	Kenttätestilaitte voidaan kuljettaa moottoriajoneuvolla	Testaus/tarkastus	Kenttätestilaitte soveltuu kuljetettavaksi moottoriajoneuvolla
<b>6</b>	<b>Elinkaari</b>		
<b>6.1</b>	Testaus voidaan suorittaa yhdellä henkilöllä	Demonstraatio / kenttäkokeilu	Testaus onnistuu yhdeltä henkilöltä
<b>6.2</b>	Kenttätestilaitte on helppokäyttöinen	Testi/ kenttäkokeilu	Käyttäjän mielestä kenttätestilaitte on helppo käyttää.
<b>6.3</b>	Henkilö voidaan kouluttaa yhdessä päivässä tai alle	Testi	Käyttäjä osaa suorittaa testauksen yhden päivän koulutuksella tai alle

Kenttätestilaitteen toiminnalliset vaatimukset perustuvat kenttätestilaitteen käyttöön, mittauksiin ja sähkönsyöttöön. Kenttätestauksen perustana on, että testattava laite voidaan käynnistää, sammuttaa ja ohjata eri testi-tiloihin. Testattava laite tarvitsee sähkö toimiakseen ja siksi vaatimuksena ovat sähkönsyötöt testattavalle laitteelle seuraavilla jännitteillä: 5VDC, 28VDC ja 115VAC. Pienintä jännitettä, 5VDC, käytetään yleensä testattavan laitteen lamppujen testaukseen. 28VDC ja 115VAC ovat testattavan laitteen käyttöjännite. Käyttöjännitteet tulevat noudattaa MIL-STD-704F -standardin spesifikaatioita kunkin jännitteen osalta. Kenttätestilaitteen jännitemittausvaatimuksen jännitealueet ovat 0-50 VDC ja 0-200 VAC. Sähkömittausvaatimukset kattavat tyypillisimmät jännitealueet avioniikkalaitteissa. Sähkömittaukset tulee olla vähintään kymmenen kertaa tarkempi kuin mitattava suure tai testattavan laitevalmistajan määrittelemällä tarkkuudella. Resistanssimittauksen vaatimukselle ei ole määritelty resistanssialuetta, mutta tulee olla kymmenen kertaa tarkempi kuin mitattava suure tai testattavan laitevalmistajan määrittelemällä tarkkuudella. Ilmanpaine-, lämpötila- ja aikamittausten vaatimukset tulee olla taulukon 7 mukainen tai laitevalmistajan määrittelemällä tarkkuudella.

Toiminnalliset vaatimukset todennetaan täyttyneeksi testaamalla tai tarkastuksella. Tarkastuksessa voidaan tarkastaa mittalaitteiden tarkkuudet komponenttivalmistajien datalehdistä. Testaamalla voidaan todeta syöttöjännitteet olevan MIL-STD-704F -standardin mukaiset. Kenttätestilaitteen akkukäyttöisyys todennetaan parhaiten demonstraatiolla tai kenttäkokeilulla.

Kenttätestilaitteen ympäristövaatimukset perustuvat kenttätestilaitteen käyttö-, kuljetus- ja varastointiympäristön olosuhteisiin. Lämpötilavaatimukset perustuvat Ilmatieteenlaitoksen ja MIL-STD-810G -standardin suositusvaatimuksiin. Lämpötilavaatimukset ovat kuitenkin lähempänä MIL-STD-810G -standardin suositusvaatimuksia kuin Ilmatieteenlaitoksen antamia arvoja. Kosteusvaatimus perustuu pelkästään kokemukseen ja MIL-STD-810G -standardin suositusvaatimuksiin. Kenttätestilaitteen roiske-, lumisateen- ja sateenkestävyysvaatimus perustuu Ilmavoimien antamiin suosituksiin (Luhtalampi Harri, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). Tärinä ja iskuvaatimukset perustuvat MIL-STD-810G -standardin suositusvaatimuksiin. EMC:tä koskeva vaatimus perustuu Ilmavoimien antamaan suositukseen (Luhtalampi Harri, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). EMC:hen liittyvä testaus tehdään taholla, joka on erikoistunut EMC -testauksiin. Suomessa EMC liittyviä testejä tekee turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes (24).

Kaikki ympäristövaatimukset todennetaan testaamalla. Testaukset perustuvat MIL-STD-810G -standardin testausryhmiin. Testausryhmät on määritetty kunkin vaatimuksen kohdalla.



Kenttätestilaitteen ulkoiset ominaisuudet perustuvat Ilmavoimien suositukseen: kenttätestilaitte on helppokäyttöinen ja mahdollisimman kevyt. Painovaatimus todennetaan testauksella eli punnituksella. Muut ulkoiset ominaisuudet todennetaan testauksella tai demonstraatiolla.

Kenttätestilaitteen liityntärajapinta- ja kaapelointivaatimuksilla pyritään mahdollistamaan kommunikointi kenttätestilaitteen ja testattavan laitteen välillä. Tämä vaatii oikeat liittimet ja kaapeloinnin. Vaatimuksilla pyritään myös estämään vaurioita kenttätestilaitteelle tai testattavalle laitteelle ESD -suojauksella ja estämällä väärinkytkeä. Vaatimukset todennetaan tarkastamalla komponenttien spesifikaatioita tai testaamalla käyttöympäristön lämpötila-alueella.

Kenttätestilaitteen kuljetettavuus- ja elinkaarivaatimukset perustuvat Ilmavoimien suositukseen, missä suositellaan kenttätestilaitteen kuljettamisen ja testauksen onnistuvan yhdeltä henkilöltä (Luhtalampi Harri, PVLOGL, sähköpostikeskustelu 1.12.2015). Kyseiset vaatimukset todennetaan demonstraatiolla, testauksella tai tarkastuksella.

## 7. VERTAILU KAUPALLISEEN KENTTÄTESTILAITTEEN VAATIMUKSIIN

MTS-207 on PXI -alustaan perustuva kannettava kenttätestilaitte. MTS-207 edustaa huippuluokan kenttätestilaitetta mahdollistaen laitteiden kenttätestauksen ja tiedonkeruun suorittamisen vaativissa ympäristöolosuhteissa. Tämä saavutetaan käyttämällä kehittyntä mittalaitetta (PXI) ja vankkaa rakennetta kompaktissa koossa. MTS-207 kenttätestilaitte kuuluu tuoteperheeseen, jossa on monia kenttätestilaitteita, jotka eroavat hieman toisistaan johtuen testattavasta kohteesta. Kuvassa 20 on esitetty kaksi kenttätestilaitetta MTS -tuoteperheestä. (27)



**Kuva 20. Vasemmalla MTS-207 ja oikealla MTS-209 -kenttätestilaitte (27).**

Taulukossa 8 on esitetty MTS-207 -kenttätestilaitteen ominaisuudet. Ominaisuuksia verrataan tämän työn tutkimuksessa havaittuihin asioihin ja tuloksiin. Vertailulla saadaan mahdollisesti esille työssä valittujen vaatimusten ja ominaisuuksien hyvät ja huonot puolet. Samalla on myös mahdollista ottaa kantaa esitettyihin suunnittelun ratkaisuihin. MTS-207 -kenttätestilaitte on hyvä vertailukohde, koska se edustaa kenttätestilaitetta, jota on tarkoitettu samaan tarkoitukseen kuin tämän työn kenttätestilaitteessa.

**Taulukko 8. MTS-207 -kenttätestilaitteen ominaisuudet (27).**

Ominaisuudet	
Rajapinta	RS-422, RS-232, USB, Ethernet, VGA
Näyttö	Auringonvalossa luettava LCD SVGA näyttö 600x800 resoluutiolla tai tabletti-PC
Käyttö	Kosketusnäyttö (valinnainen)
Sisääntulo	1- tai 3-vaiheinen

	105 VAC ... 250 VAC
	45 Hz ... 420 Hz
	800 W (maksimiteho)
DC sisääntulo (valinnainen)	28 VDC (750 W maksimiteho)
PXI-ulostulo	+5 VDC @ 35 A
	+3.3 VDC @ 35 A
	+12 VDC @ 3 A
	-12 VDC @ 3 A
	+19 VDC @ 5 A (tabletille)
Ulostulo DC (ulkoinen)	28 VDC @ 1 A
	5 VDC @ 1 A
UUT ulostulo (valinnainen)	240 W maksimiteho, yksi- tai kolmikanavainen
Suojaus	Yli- ja alijännite
	Ylivirta
	Estojännite
	Yli- / alilämpötila

Ensimmäisenä taulukossa 8 ovat MTS-207 -kenttättestilaitteen rajapinnat: RS-422, RS-232, USB, Ethernet, VGA. Edellä mainitut rajapinnat ovat kaikki perus kommunikointiväyliä. Ainoastaan RS-422 erottuu joukosta. RS-422 on tarkoitettu kommunikointiin APPLE tuoteperheen tietokoneitten kanssa (28). Mikään edellä mainituista väylistä eivät liity ilmailussa käytettäviin väyliin. Esimerkiksi sotilasilmailussa hyvin käytetty väylä MIL-STD-1553 puuttuu kokonaan. Rajapintoja ei ole määritelty tämän työn vaatimusmäärittelyssä, mutta on hieman sivuttu kappaleessa 5. Käytännössä rajapintavaatimukset sisältyvät tämän työn vaatimusmäärittelyn toiminnallisissa vaatimuksissa, koska laitteen ohjaus vaatii kommunikoinnin tietyllä väylällä.

MTS-207 ominaisuutena on auringonvalossa luettava LCD -näyttö, johonka voidaan myös valita kosketusnäyttöominaisuus. Nämä ominaisuudet liittyvät kenttättestilaitteen käytettävyyden vaatimuksiin. Työn vaatimusmäärittelyssä on määritelty, että kenttättestilaitte tulisi olla helppo käyttää ja yhden henkilön käytettävissä. Helposti luettava kosketusnäyttö tekee kenttättestilaitteen käytöstä helppoa. MTS-207 ominaisuudet tukevat sitä väitettä, että kenttättestilaitteen tulisi olla helppo käyttää.

MTS-207 -kenttättestilaitteella on AC ja DC -sisääntulot eli kyseinen kenttättestilaitte ei ole tehty akkukäyttöiseksi toisin kuin tämän työn vaatimusmäärittelyssä tehdyille kenttättestilaitteelle on määritelty. Tämän takia MTS-207 -kenttättestilaitteen käyttö on huomattavasti rajoitetumpi kuin akkukäyttöisen kenttättestilaitteen.

MTS-207 -kenttättestilaitteen ulostulot ovat kattavat, mutta rajoittuvat vain tasajännitteeseen (VDC). Tämä ei sovellu avioniikkalaitteiden testaukseen, koska laitteet tarvitsevat usein käyttöjännitteeksi 115VAC 400Hz. Kaikki tarpeelliset jännitteet ovat määritelty tämän työn vaatimusmatriisissa.

MTS-207 -kenttättestilaitteen ominaisuuksiin kuuluu yli-/alijännitesuojaus, ylivirtasuojauus, estojännitesuojaus ja yli-/alilämpötilasuojauus. Nämä suojaukset koskevat todennäköisesti sisätulosähköä. Näitä suojauksia ei ole määritelty tai käsitelty tämän työn vaatimusmäärittelyssä. Mikäli tuleva kenttättestilaitte suunnitellaan toimivan ulkoisen jännitelähteen avulla, tulee sisätulosähköön liittyvät suojaukset ottaa huomioon ja mahdollisesti asettaa vaatimukseksi.

MTS-207 -kenttättestilaitteen ominaisuuksia voidaan myös analysoida kuvasta 20. Kenttättestilaitteen layout on hyvin selkeä ja yksinkertainen. Jokainen liitin ja kytkin on selitetty tekstillä. Liittimet ovat suojattu kunkin liittimelle sopivalla suojatulpalla. Kenttättestilaitteen kotelo on sen verran vankka, että erillistä kuljetuslaatikkoa ei tarvita. Kenttättestilaitteeseen on asennettu kahvoja. Nämä kaikki piirteet ovat yhdenmukaisia tämän työn vaatimusmäärittelyn tai 5. luvun pohdintojen kanssa. Suojatulpat toimivat ESD -suojana käyttäjän kosketukselta. Liittimien ja kytkimien selitykset tekevät kenttättestilaitteesta helppokäyttöisen. Kenttättestilaitteen oma kotelo toimii kuljetuslaatikkona. Kahvat helpottavat kenttättestilaitteen käsittelyä paikasta toiseen.

Taulukossa 9. on esitetty MTS-207 -kenttättestilaitteen ympäristövaatimukset. Ympäristövaatimuksia verrataan tämän työn määriteltyihin ympäristövaatimuksiin. On kuitenkin huomioitava, että MTS-207 -kenttättestilaitteen tietyt ympäristövaatimukset ovat luultavasti tiukemmat, koska kyseinen kenttättestilaitte on suunniteltu käytettävän ympäri maailmaa.

***Taulukko 9. MTS-207 -kenttättestilaitteen ympäristövaatimukset (27).***

Ympäristövaatimukset	
Käyttölämpötila	-40 °C ... +63 °C
Säilytyslämpötila	-44 °C ... +71 °C
Suhteellinen kosteus	95%, ei kondensoiva
Korkeus	4,572 km (käyttö)
	9,144 (ei käyttö)
Irti olevan rahdin tärinä	IAW MIL-STD-810F, Method 514, Procedure II
Tärinä (siniaalto)	IAW MIL-T-28800
	Paragraph 4.5.5.3.2
Tärinä (satunnainen)	IAW MIL-T-28800
	Paragraph 4.5.5.3.1
Isku (puolisiniaalto)	IAW MIL-T-28800
	Paragraph 4.5.5.4.1
	7G, käyttö

	30G, ei käyttö
Suolainen sumu	MIL-STD-810F, Method 509, Procedure I
Pöly	MIL-STD-810F, Method 510, Procedure I
Sade	MIL-STD-810, testiryhmä 506, proseduuri II
EMI (valinnainen)	MIL-STD-461E
Jäähdytys	13" tuuletin, 350CFM (maksimi)
Lämmitys	Sisäänrakennettu 345 W lämmitin
Koko	63 cm pituus x 48 cm leveys x 50 cm syvyys
Paino	27 kg (60 lbs)

MTS-207 käyttölämpötilaksi on ilmoitettu  $-40^{\circ}\text{C} \dots +63^{\circ}\text{C}$ . Tämän työn vaatimusmäärittelyssä käyttölämpötilaksi on määritelty  $-40^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$ . Vertailun kenttätestilaitteen korkein lämpötila on korkeampi kuin tämän työn vaatimusmäärittelyn korkein lämpötila. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että MTS-207 -kenttätestilaitte on suunniteltu käytettävän Suomea lämpimämmässä maassa. Tämän työn kenttätestilaitteen vaatimusmäärittely on tehty Suomen olosuhteisiin. Suomessa korkein (ei aiheutettu eli luonnollinen) mitattu ilman lämpötila on  $37,2^{\circ}\text{C}$  29.7.2010 Joensuussa (13). Lämpötila voi tietysti helposti nousta yli  $+40^{\circ}\text{C}$ , jos ilma ei esimerkiksi pääse vaihtumaan. Aiheutettu lämpötila ei kuitenkaan koske kenttätestilaitteen käyttöä, mutta voi koskea säilytystä tai kuljetusta. MTS-20 -kenttätestilaitteen matalin käyttölämpötila on sama kuin tämän työn vaatimusmäärittelyn matalin käyttölämpötila. MTS-207 -kenttätestilaitteen laaja toimintalämpötila on mahdollistettu sisäänrakennetulla lämmittimellä ja tuulettimella. Tätä suunnitteluratkaisua voidaan käyttää hyväksi myös tulevassa kenttätestilaitteen suunnittelussa.

MTS-207 -säilytyskäyttölämpötilaksi on ilmoitettu  $-44^{\circ}\text{C} \dots +71^{\circ}\text{C}$ . Tämän työn kenttätestilaitteen vaatimusmäärittelyssä säilytyslämpötilaksi on määritelty  $-40^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ . MTS-207 -kenttätestilaitteen säilytyslämpötila on hieman korkeampi ja matalampi kuin tässä työssä määritelty lämpötila. Korkea lämpötila eroaa  $11^{\circ}\text{C}$  ja matala lämpötila eroaa  $4^{\circ}\text{C}$ . Erot johtuvat todennäköisesti siitä, että MTS-207 on suunniteltu säilyttäväksi missä tahansa ympäri maailman, kun taas tämän työn kenttätestilaitteen vaatimukset ovat määritelty Suomen olosuhteiden mukaisesti. Vaikka Suomen lämpötilat harvoin nousevat yli  $35^{\circ}\text{C}$ , suljetussa tilassa ilman lämpötila voi nousta paljon korkeammaksi.

MTS-207 -kenttätestilaitteen on ilmoitettu toimivan ja kestävän 95% ei kondensoivassa kosteudessa. Kyseinen kosteusvaatimus on sama kuin tämän työn kosteusvaatimus. MTS-207 kenttätestilaitteen kosteusvaatimus osoittaa, että kenttätestilaitteelta vaaditaan korkeaa kosteudensietokykyä. Tämä viittaa siihen, että kenttätestilaitteiden toimintaympäristö sijaitsee usein kosteassa ympäristössä. Vertailu osoittaa, että tämän työn vaatimusmäärittelyssä määritelty kosteusvaatimus on oikealla tasolla.

MTS-207 -kenttättestilaitteelle on määritelty toimivan alle 4572 m painekorkeudessa ja kestävän kuljetuksia alle 9144 m vastaavassa ilmanpaineessa. Tämän työn vaatimusmäärittelyssä ei ole asetettu korkeus- tai ilmanpainevaatimuksia kenttättestilaitteelle. Kyseinen vaatimus menettää merkityksensä Suomessa. Mikäli kenttättestilaitetta suunnitellaan kuljetettavaksi ilmateitse, tulee kenttättestilaitteelle asettaa kuljetuksen korkeus- tai ilmanpainevaatimukset.

MTS-207 -kenttättestilaitteen tärinän- ja iskunkestävyysvaatimukset ovat määritelty MIL-STD-810F -sotilasstandardin ja MIL-T-28800 -sotilasstandardin mukaan. Kenttättestilaitteen on ilmoitettu kestävän 7G iskuja käytössä ja 30G iskuja ei käytössä. Tärinän vaatimuksista ainoastaan irti olevan rahdin tärinä (MIL-STD-810F ryhmä 514 proseduuri II) on sama vaatimus kuin tämän työn vaatimusmäärittelyssä määritetty tärinävaatimus (MIL-STD-810G ryhmä 514 proseduuri II). MIL-STD-810G -sotilasstandardin ja MIL-T-28800 -standardin testausryhmiä on vaikea verrata keskenään koska eroavat toisistaan suuresti. Vertailu kuitenkin osoittaa, että iskuvaatimukset pitäisi myös ilmaista G voimina, eikä pelkästään tietyn standardin testiryhmän mukaisesti.

MTS-207 -kenttättestilaitteelle on ilmoitettu kestävän MIL-STD-810F, testiryhmän 509, proseduuri I mukaisen testin. Tämän työn kenttättestilaitteelle ei ole määritelty vaatimusta suolaisen sumun kestävyydelle, koska se ei kuulu Suomen olosuhteisiin. Näin ollen vertailua ei voida tehdä. Vaatimus menettää merkityksensä Suomen ympäristössä.

MTS-207 -kenttättestilaitteelle on ilmoitettu kestävän MIL-STD-810F, testiryhmän 510, proseduuri I mukaisen testin pölylle. Tämän työn kenttättestilaitteelle ei ole määritelty vaatimusta suolaisen sumun kestävyydelle, koska sitä ei ole pidetty merkittävänä suunnittelukriteerinä. Ainoa tilanne, missä pölyä muodostuisi niin paljon, että se vaarantaisi laitteen toimintaa, olisi maantietukikohdassa. Tarvittava pölytiiveys oletetaan täyttyvän muiden vaatimusten myötä. Näen, että vaatimus pölytiiveydestä olisi suositeltavaa, mutta ei pakollinen.

MTS-207 -kenttättestilaitteelle on ilmoitettu kestävän MIL-STD-810F testiryhmän 506 proseduuri II mukaisen sadetestin. Tämän työn vaatimusmäärittelyssä kenttättestilaitteelle asetettiin sateenkestävyydeksi läpäistä MIL-STD-810G testiryhmän 506 proseduuri I. Proseduuri I jäljittää sadetta paremmin kuin proseduuri II (12). Ero johtuu proseduurien tavasta luoda vesipisaroita. Vertailu osoittaa, että sateenkestävyys on tärkeä vaatimus kenttättestilaitteelle.

MTS-207 -kenttättestilaitteen datalehdessä mainitaan, että kenttättestilaitte voidaan hankkia versiona, missä se täyttää MIL-STD-461E -sotilasstandardin vaatimukset. Tämä standardi on määritelty myös tämän työn kenttättestilaitteen

vaatimusmäärittelyssä. Vertailu osoittaa, että MIL-STD-461E -sotilasstandardin vaatimukset sopivat kenttätestilaitteen EMI/EMC -vaatimukseksi.

MTS-207 -kenttätestilaitteen viimeiseksi vaatimuksesi on ilmoitettu koko ja paino. Painoksi on ilmoitettu 27 kg. Vertailun kenttätestilaitteen pituus on 63 cm, leveys 48 cm ja syvyys 50 cm. Tämän työn kenttätestilaitteen vaatimusmäärittelyssä määriteltiin kenttätestilaitteen maksimipainoksi 25kg. Tämä painoraja on hyvin lähellä MTS-207 laitteen painoa, niin kuin myös ulkomitat. Vertailu osoittaa, että tämän työn vaatimusmäärittely koon ja painon suhteen ovat hyvin lähellä kenttätestilaitetta, joka edustaa huippuluokan laitteistoa.

## 8. JOHTOPÄÄTELMÄT

Tämän työn tuloksia ei voida käyttää sellaisenaan toteutettavaan avioniikkalaitteen kenttätestilaitteen vaatimuksiin. Tämä johtuu siitä, että vaatimukset riippuvat hyvin paljon testattavasta laitteesta. Työn tarkoitus oli luoda yleinen vaatimuspohja tulevalle kenttätestilaitteelle, jota sovelletaan tapauskohtaisesti.

Sovellettaessa tämän työn tuloksia, tulee huomioida, että tutkimustyössä on tarkastelu kenttätestilaitteen vaatimuksia sotilasilmailun näkökulmasta Suomen ympäristössä. Mikäli tulevaa kenttätestilaitetta on tarkoitus käyttää Suomen lisäksi myös ulkomailla rauhanturvatehtävissä, tulisi vaatimusmäärittelyssä ottaa huomioon näiden ympäristöjen tyypilliset olosuhteet.

Vertailu kaupallisen kenttätestilaitteen kanssa osoitti, että tämän työn vaatimusmäärittely on hyvin yhdenmukainen kaupallisen kenttätestilaitteen kanssa. Yhdenmukaisuus on merkki siitä, että tässä työssä määritettyjä vaatimuksia voidaan pitää hyvinä.

Tässä työssä määritetyt vaatimukset pidän kuitenkin erittäin haasteellisina toteuttaa käytännössä. Hyvällä suunnittelulla ja asiantuntemuksella vaatimukset ovat kuitenkin saavutettavissa hyväksyntäkriteerien mukaisesti.

Ympäristövaatimukset ovat suhteellisen vaativat ja asettavat merkittäviä haasteita komponenttivalintoihin. Varsinkin käytön lämpötilavaatimukset asettavat haasteita mittalaitteille, koska lämpötila vaikuttaa merkittävästi sähkökomponenttien ominaisuuksiin ja sitä kautta mittaustuloksiin. Lisäksi sadekestävyysvaatimus voi olla haastavaa toteuttaa. Sitä, että kenttätestilaitte olisi akkukäyttöinen, pidän myös haasteellisenä.

Haasteen luo testattavan laitteen sähkönsyöttötarve ja akkujen tuoma paino. Sähkönmuunnos tarvitsee yleensä muuntajan tai virtalähteen, jotka vievät tilaa ja saatavat olla myös hyvin painavia. Liian suuri paino vaikeuttaa kenttätestilaitteen käsittelyä käytössä ja kuljetuksessa. Lisäksi akkujen käyttö ääriämpötiloissa on haastavaa.

Vaatimusten lisäksi työn lopputuloksena syntyivät myös vaihtoehdot millä vaatimukset voidaan todentaa täyttyneeksi ja niiden hyväksyntäkriteerit. On suositeltavaa, että vaatimuksen omistaja määrittelee myös tavan, millä vaatimukset todennetaan. Todentamistavat löytyy todentamis- ja vaatimusmatriisista. Suurin osa vaatimuksista



todennetaan täyttyneeksi testauksella tai tarkastuksella. Muutama vaatimus tulee todentaa demonstraatiolla tai kenttäkokeilulla.

Katsomalla diplomityön lopputuloksia voidaan todeta, että diplomityö pääsi tavoitteisiinsa. Työn lopputuloksena on kattava pohja kenttätestilaitteen vaatimusmäärittelylle. Lisäksi lopputuloksena on esitetty todentamistavat, millä vaatimukset voidaan toteuttaa. Työn tutkimusosiota voidaan soveltaa tulevan kenttätestilaitteen vaatimusmäärittelyssä. Ilmavoimien näkemys kenttätestilaitteen vaatimuksista antaa tulevalle kenttätestilaitteelle sille tarvittavat ominaisuudet ilmaalusympäristössä suoritettavaan testaukseen.

Työn jatkotoimenpiteenä suosittelen, että tulevan kenttätestilaitteen vaatimukset suunnitellaan työn tilaajan ja toimittajan yhteistyön avulla käyttäen molempien osapuolten asiantuntemusta hyväksi. Vaatimusten osalta tarvetta lisätutkimuksille ei ole. Vaatimustenmäärittelyn jälkeen seuraava vaihe on suunnitella kenttätestilaitte niin, että se täyttää sille asetetut vaatimukset.

## LÄHTEET

- [1] **7.11.2014/864**, Suomen ilmailulaki [WWW], [viitattu 20.7.2015], Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>
- [2] **Ilmavoimat, Puolustusvoimat** [WWW], [viitattu 9.4.2015], Saatavissa: <http://www.puolustusvoimat.fi/fi/Ilmavoimat/Etusivu/?urile=wcm%3Apath%3A/su%20puolustusvoimat.fi/Puolustusvoimat.fi/Ilmavoimat/Etusivu/>
- [3] **557/2011**, Valtioneuvoston asetus sotilasilmailusta [WWW], [viitattu 20.7.2015], Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110557>
- [4] **SIM-To-Lt-001**, Sotilasilmailun viranomaisyksikkö, Sotilasilmailumääräys [PDF], [viitattu 20.7.2015], Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/34322-SIM\\_To\\_Lt\\_001SUOMI.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34322-SIM_To_Lt_001SUOMI.pdf)
- [5] **Moir, Ian and Allan Seabridge**, Military Avionics Systems, ISBN: 0-470-01632-9.
- [6] **NAVAL AIR SYSTEM COMMAND**, The CASS familiy OTPS sustainment process [PDF], Päiväys: elokuu 2009, Versio 1.1, [viitattu 11.9.2013], Saatavissa: [http://www.acq.osd.mil/ats/CASS\\_Family\\_OTPS\\_Sustainment\\_Process\\_-\\_Version\\_1.1.pdf](http://www.acq.osd.mil/ats/CASS_Family_OTPS_Sustainment_Process_-_Version_1.1.pdf)
- [7] **AQAP-2009**, NATO International staff - Defence investment division [PDF], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: [http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2009e\(3\).pdf](http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2009e(3).pdf)
- [8] **Kosola, Jyri**, Vaatimustenhallinnan opas [PDF], Maanpuolustuskorkeakoulun sotatekniikan laitos, ISBN:978-951-25-2454-9, Helsinki 2013, Julkaisusarja 5., [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88931/Vaatimustenhallinnan%20opas%201.0\\_verkkoversio.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88931/Vaatimustenhallinnan%20opas%201.0_verkkoversio.pdf?sequence=2)
- [9] **ISO 9001:2008**, The International Organization for Standardization [WWW], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: [http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso\\_9000.htm](http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso_9000.htm)
- [10] **AS9100 ja AS9110**, SAE International [WWW], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: <https://www.saiglobal.com/assurance/aerospace/>

- [11] **GQA-laadunvarmistus ja AQAP-julkaisut**, Pääesikunnan materiaalitöimisto [PDF], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: [http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/ad4ecf0048ea529e9390d700c6621582/GQA\\_ja\\_AQAP.pdf?MOD=AJPERES](http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/ad4ecf0048ea529e9390d700c6621582/GQA_ja_AQAP.pdf?MOD=AJPERES)
- [12] **MIL-STD-810G**, Enviromental engineering considerations and laboratory tests [PDF], Department of Defence, 31 lokakuu 2008, [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G\\_12306/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G_12306/)
- [13] **Ilmatieteenlaitos**, Lämpimin ja kylmin paikka vuosittain [WWW], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lampimin-ja-kylmin-paikka-vuosittain>
- [14] **Houchin**, C690 Specifications [PDF], Saatavissa: <http://www.exprom.pl/c690.pdf>
- [15] **Valtanen, Esko**, Tekniikan taulukkokirja, 16. painos, Jyväskylä 2008, ISBN 978-952-9867-33-2
- [16] **Maanmittauslaitos** [WWW], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: <http://kansalaisen.karttapaikka.fi/kartanhaku/osoitehaku.html?lang=>
- [17] **PATS-70**, Marvin Test Solutions [WWW], Saatavissa: <http://www.marvintest.com/News/Article.aspx?ID=1228>
- [18] **Amphenol**, Product overview [PDF], [viitattu 22.8.2015], Saatavissa: [https://www.amphenol.com/pdfs/Amphenol\\_Book\\_2014.pdf](https://www.amphenol.com/pdfs/Amphenol_Book_2014.pdf)
- [19] **MIL-STD-704F**, Aircraft electrical power charactreristics [PDF], Department of Defence, 12 toukokuu 2004, Saatavissa: <http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0700-0799/download.php?spec=MIL-STD-704F.027323.pdf>
- [20] **AQAP-2110**, NATO QUALITY ASSURANCE REQUIREMENTS FOR DESIGN, DEVELOPMENT AND PRODUCTION. NATO International staff - Defence investment division [PDF], Saatavissa: [http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2110\(3\)e.pdf](http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2110(3)e.pdf)
- [21] **AQAP-2120**, NATO QUALITY ASSURANCE REQUIREMENTS FOR DESIGN, DEVELOPMENT AND PRODUCTION, NATO International staff - Defence investment division [PDF], Saatavissa: [http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2120\(3\)e.pdf](http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2120(3)e.pdf)

- [22] **AQAP-2130**, NATO QUALITY ASSURANCE REQUIREMENTS FOR DESIGN, DEVELOPMENT AND PRODUCTION, NATO International staff - Defence investment division [PDF], Saatavissa: [http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2130\(3\)e.pdf](http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2130(3)e.pdf)
- [23] **AQAP-2131**, NATO QUALITY ASSURANCE REQUIREMENTS FOR DESIGN, DEVELOPMENT AND PRODUCTION, NATO International staff - Defence investment division [PDF], Saatavissa: [http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2131\(2\)e.pdf](http://nso.nato.int/nso/zPublic/ap/aqap-2131(2)e.pdf)
- [24] **Turvallisuus- ja kemikaalivirasto** (Tukes), LVD - sähköturvallisuus [WWW], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/LVD-sahkoturvallisuus/>
- [25] **Turvallisuus- ja kemikaalivirasto** (Tukes), ATEX - räjähdysvaarallisten tilojen laitteet [WWW], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/ATEX---Rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet/>
- [26] **Turvallisuus- ja kemikaalivirasto** (Tukes), RoHS - Vaarallisten aineiden käytön rajoittaminen [WWW], [viitattu 25.7.2015], Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/RoHS---Vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittaminen/>
- [27] **MTS-207**, Marvin Test Solutions [WWW], Saatavissa: <http://www.marvintest.com/PXI/Products/PXI-Chassis-3U-6U-Chassis-MTS-207.aspx>
- [28] **RS-232 RS-422 RS-485**, Serial Communication General Concepts, National Instruments [PDF], Saatavissa: <http://www.ni.com/white-paper/11390/en/pdf>

**LIITE 1: Lämpötilakartta, korkea lämpötila, MIL-STD-810G**

**LIITE 2: Lämpötilakartta, matala lämpötila, MIL-STD-810G**

**LIITE 3: Kosteuskartta, MIL-STD-810G**

**LIITE 4: Taulukko ympäristöolosuhteista, MIL-STD-810G**

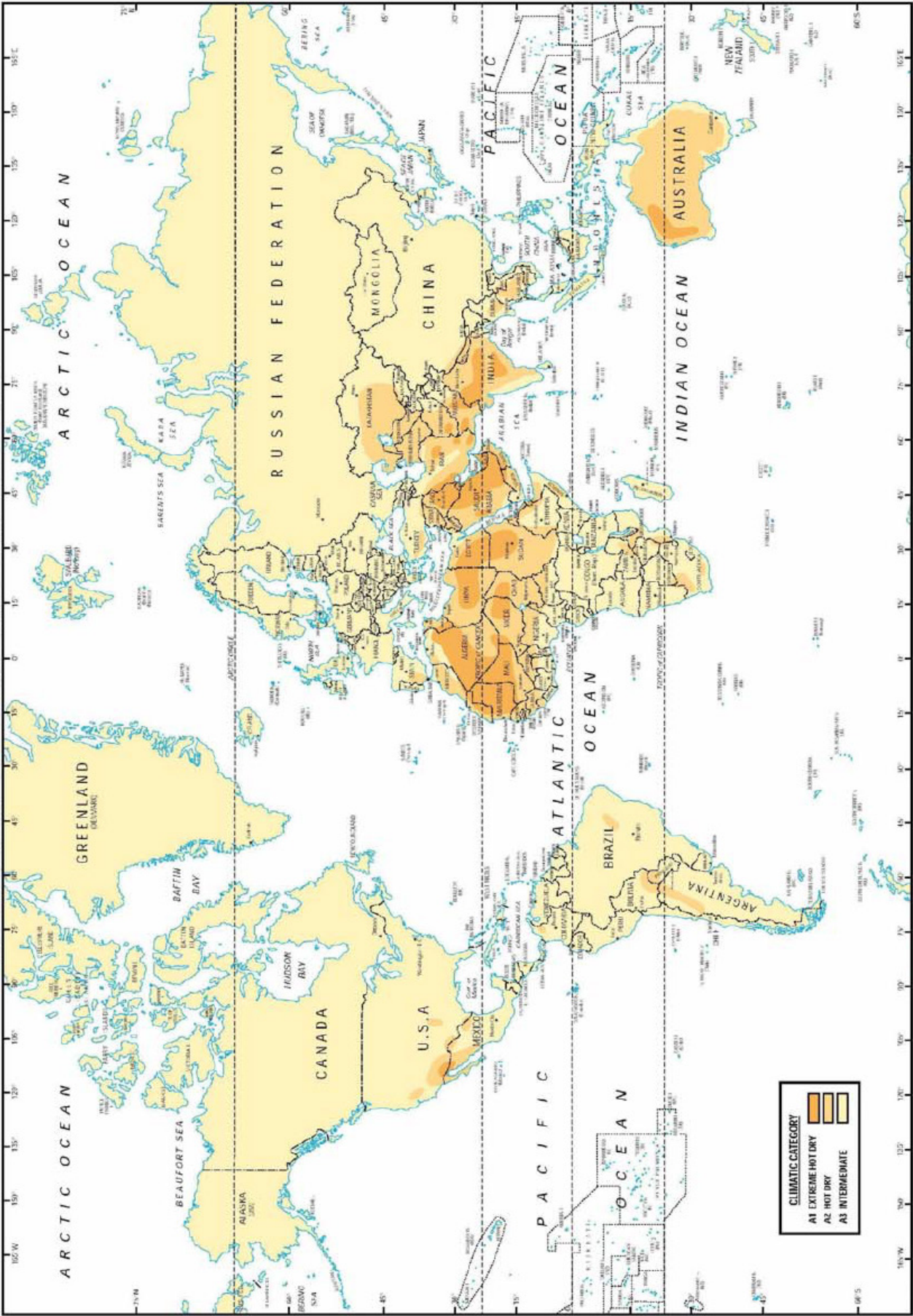
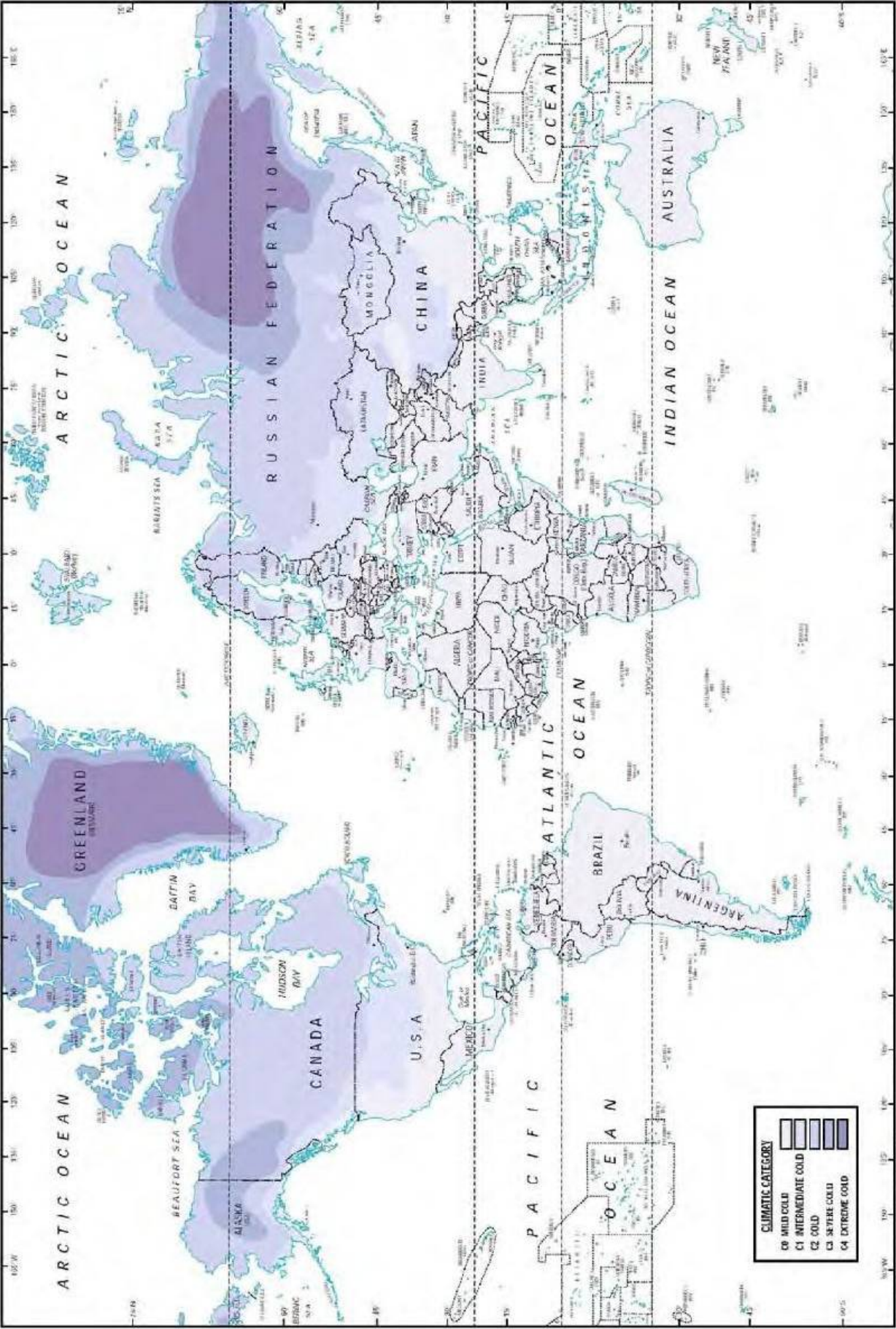


Figure C-1. Areas of occurrence of climatic categories A1, A2, & A3.









MIL-STD-810G  
PART ONE ANNEX C

Table C-1. Summary of climatic conditions and daily cycles of temperature, solar radiation, and relative humidity.

Climatic Design Type	Daily Cycle <sup>1</sup>	Operational Conditions				Storage and Transit Conditions		
		Ambient Air Temperature <sup>2</sup> °C (°F)		Solar Radiation W/m <sup>2</sup> (Bph <sup>3</sup> )	Ambient Relative Humidity %RH <sup>4</sup>	Induced Air Temperature °C (°F)		Induced Relative Humidity %RH
		Daily Low	Daily High			Daily Low	Daily High	
Hot	Hot Dry (A1)	32 (90)	49 (120)	0 to 1120 (0 to 355)	8 to 3	33 (91)	71 (160)	7 to 1
	Hot Humid (B3)	31 (88)	41 (105)	0 to 1080 (0 to 343)	88 to 59	33 (91)	71 (160)	80 to 14
Basic	Constant High Humidity (B1)	Nearly Constant 24 (75)		Negligible	95 to 100	Nearly Constant 27 (80)		95 to 100
	Variable High Humidity (B2)	26 (78)	35 (95)	0 to 970 (0 to 307)	100 to 74	30 (86)	63 (145)	75 to 19
	Basic Hot (A2)	30 (86)	43 (110)	0 to 1120 (0 to 355)	44 to 14	30 (86)	63 (145)	44 to 5
	Intermediate <sup>6</sup> (A3)	28 (82)	39 (102)	0 to 1020 (0 to 323)	78 to 43	28 (82)	58 (136)	See note <sup>5</sup>
	Basic Cold (C1)	-32 (-25)	-21 (-5)	Negligible	Tending toward saturation	-33 (-28)	-25 (-13)	Tending toward saturation
Cold	Cold (C2)	-46 (-50)	-37 (-35)	Negligible	Tending toward saturation	-46 (-50)	-37 (-35)	Tending toward saturation
Severe Cold	Severe Cold (C3)	-51 (-60)		Negligible	Tending toward saturation	-51 (-60)		Tending toward saturation

<sup>1</sup> Designations in parentheses refer to corresponding climatic categories in MIL-HDBK-310 and AR-70-38 (except the A-3 category) and NATO STANAG 4370, AECTP 200, Category 230, Section 2311; (see Part One, 2.2.1, 2.2.2, and 2.3).

<sup>2</sup> °C values (rounded to the nearest whole degree) derived from data obtained/established on °F scale.

<sup>3</sup> Bph represents British Thermal Units per square foot per hour.

<sup>4</sup> Sequence of RH presentation corresponds to sequence of air temperatures shown (e.g., for HOT-DRY daily cycle, 8 percent RH occurs at 32°C; 3 percent RH occurs at 49°C).

<sup>5</sup> Relative humidity for the A3 storage condition vary to widely between different situations to be represented by a single set of conditions.

<sup>6</sup> Values are only found in NATO STANAG 4370, AECTP 200, Category 230, Section 2311.

**NOTE:** The numbers shown for the values of the climatic elements represent only the upper and lower limits of the cycles that typify days during which the extremes occur; e.g., for the Hot-Dry cycle, 120°F is the maximum daytime temperature, and 90°F is the minimum nighttime (or early morning) temperature.